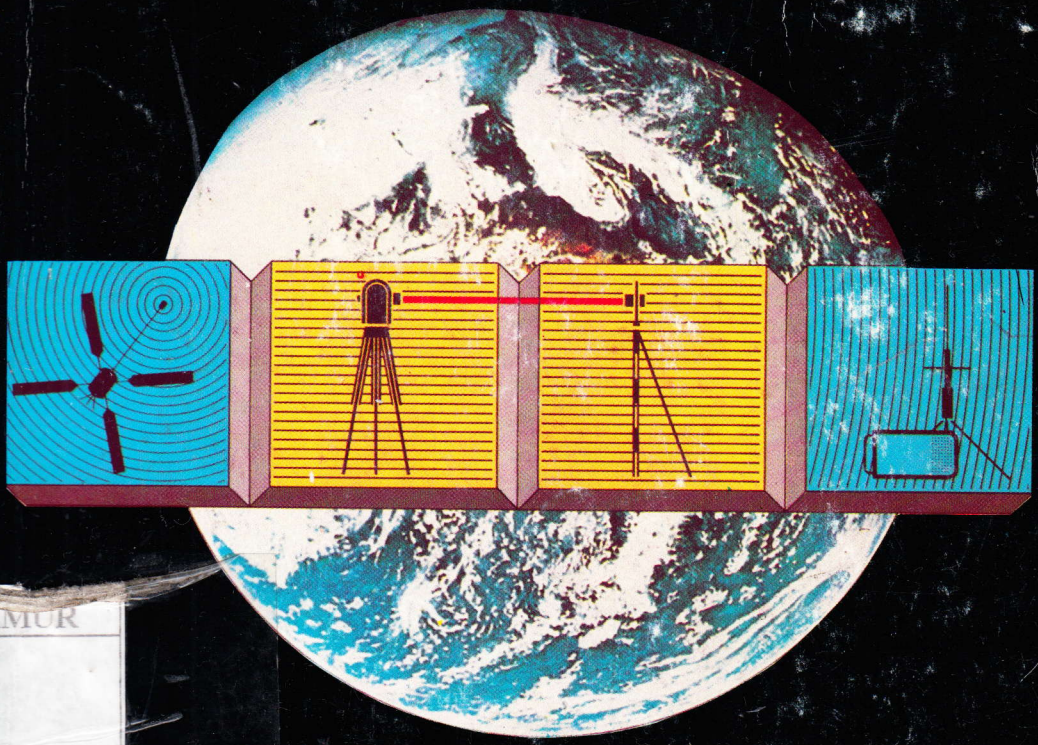
Russell C. Brinker
Paul R. Wolf
Djoko Walijatun

DASAR-DASAR PENGUKURAN TANAH (SURVEYING)



A TIMUR

Edisi Ketujuh

Jilid 2

EDISI KETUJUH

Dasar-dasar Pengukuran Tanah

Jilid 2

PAUL R. WOLF

Adjunct Professor of Civil Engineering
New Mexico State University

CHARLES D. GHILANI

Professor, Civil and Environmental Engineering
University of Wisconsin at Madison

Alih Bahasa:
[illegible]
Direktorat Agraria

1997

[illegible]
Jl. H. Baping Raya No. 100
Ciracas, Jakarta 13740

[illegible]
Perpustakaan Nasional
[illegible]
279. 911 /BPP/P/03

PRODIK. T.A. 2003

Judul Asli: *ELEMENTARY SURVEYING*
Seventh Edition

Hak Cipta © 1984 dalam Bahasa Inggris pada Harper & Row, Publishers, Inc.
Hak Terjemahan dalam Bahasa Indonesia pada **Penerbit Erlangga**.

Diterjemahkan oleh: Djoko Walijatun M.Sc.
Kepala Sub Direktur Pendaftaran Tanah pada Direktorat Agraria Propinsi Jawa Tengah – Semarang.

Dilarang keras mengutip, menjiplak atau memphotocopy sebagian atau seluruh isi buku ini, serta memperjual-belikannya tanpa izin tertulis dari Penerbit Erlangga.

Buku ini diset oleh bagian Produksi Penerbit Erlangga dengan huruf PR-10-M.
Setting oleh : Endra. S.
Lay Out oleh : Bagian Produksi Penerbit Erlangga
Dicetak oleh : PT. Gelora Aksara Pratama

Cetakan kedua, 1997

© HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

UCAPAN TERIMA KASIH

Para pengarang ingin menyampaikan terima kasih atas saran-saran dan bantuan-bantuan yang berguna, atau bahan-bahan yang dipakai untuk edisi ini maupun edisi-edisi sebelumnya, atau kedua-duanya, yang telah diberikan oleh Profesor-profesor A.S. Cutler, O.S. Zelne, dan L.F. Boon; C.B. Andrews; P.P. Rice; D.F. Griffin; A.S. Chase; L. Perez; Let. Kol. W.L. baxter; E.G. Rich; J.P. Rastroni; D.V. Smith; E.C. Wagner, H.E. Kallsen, J.L. Clapp, R.B. Buckner, dan S.D. Johnson; G.B. Lyon; W.A. Wintz, Jr.; D.C. McKee; J.M. DeMarche; C.F. Meyer; C.H. Drown; J.R. Coltharp; P. W. McDonnell, Jr. J.O. Eichler; D.C. McNeese; D.A. Tyler; D.S. Turner; J.O. Meadows; E.F. Kuhlan; R.E. Hauck; K.S. Curtis; P.E. Borgo; P.B. Newlin; A.C. Kellie; C.E. Balleisen; W.I. Strong; E.F. Burkholder; H.Z. Lewis; A.P. Vonderohe, dan D.F. Mezera. Juga, W.C. Wattles, R.P. Irwin, T.E. Henderson, F.A. Sieker, F.P. Thomack, R.H. Holdridge, R. Minnick, J.M. Kesler, B.A. Dewitt, J.W. Schoonmaker, J.D. Henry, E. Gammon, R.J. Fish, dan E. Zimmerman. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada Louise Shafer untuk sumbangannya yang banyak bagi buku ini.

Bahan berupa gambar dan bantuan lainnya telah diberikan dengan cuma-cuma oleh U.S. Bureau of Land Management, U.S. Geological Survey, National Godetic Survey, U.S. Soil Conservation Service, Defense Mapping Agency, dan Technical Advisor, Inc.

Perusahaan-perusahaan alat ukur yang menyediakan foto-foto adalah the Keuffel & Esser Company; Kern Instruments, Inc.; Lietz Company; American Paulin System; Carl Zeiss Oberkochen; Wild Heerbrugg Instruments, Inc.; Lenker Manufacturing Company; Warren Knight Company; AGA Geodimeter, Inc.; Hewlett Packard, Inc.; Telludist, Inc.; Dietzgen, Inc.; W. & L.E. Gurley; Numonics Corporation; Magnivox; Owen Ayres & Associates, Inc.; Bausch & Lomb, Inc.; Shell Canada Resources, Ltd.; Kelsh Instrument Division, Danko Arlington, Inc.; dan Benchmark Company.

DAFTAR ISI

Halaman

Pengantar 1
Pengukuran Takimetri untuk Titik Bidik Horisontal 1
Pengukuran Takimetri untuk Bidikan Miring 3
Rambu Takimetri 6
Busur Beaman 7
Takimeter Swa-reduksi 8
Catatan Lapangan 8
Prosedur Lapangan 10
Poligon Takimetri 11
Topografi 11
Sipat Datar Takimetri 11
Kesaksamaan 11
Sumber-sumber Galat dalam Pekerjaan Takimetri 12
Kesalahan-kesalahan Besar 12
Soal-soal 12
Daftar Pustaka 14

Pengantar	15
Metode-metode untuk Pengukuran Topografik	15
Titik Tetap (Titik Kontrol) untuk Pengukuran Topografik	16
Cara-cara Menempatkan Detail Topografik di Lapangan	17
Lokasi Garis	18
Lokasi Garis-garis dari Titik Tunggal	19
Garis Tinggi	19
Sifat-sifat Garis Tinggi	22
Cara Langsung dan Tak Langsung Menentukan Garis Tinggi	23
Metode-metode Lapangan dalam Memperoleh Topografi	24
Metode Radiasi	24
Metode Takimetri	24
Metode Planset	24
Metode Bujur Sangkar Koordinat	25
Simpangan dari Garis Sumbu	26
Garis Tinggi (Counturs) dengan Alat Sipat Datar Tangan	27
Pemilihan Metode Lapangan	27
Spesifikasi Pengukuran Topografik	27
Sumber-sumber Galat dalam Pengukuran Topografik	28
Kesalahan-kesalahan Besar	28
Soal-soal	28
Daftar Pustaka	30

Pengantar	31
Badan-badan Pemetaan	32
Skala Peta	32
Penggambaran Peta	33
Menggambar Titik Kontrol	33
Menggambar Sudut (Plotting Angles)	34
Metode Tangen	34
Metode Tali Busur	34
Metode Busur Derajat (Protractor Method)	35
Kebaikan dan Keburukan Metode-metode yang Berbeda	36
Menggambar Detail	36
Interval Garis Tinggi	37
Menggambar Garis Tinggi	37
Simbol-simbol Topografik	39
Menempatkan Peta dalam Lembaran	41
Panah Meridian	42
Judul	42
Catatan	43
Bahan Penggambaran	43
Pemetaan Otomatis	44
Sumber-sumber Galat dalam Pemetaan	46
Kesalahan-kesalahan Besar	46
Soal-soal	46
Daftar Pustaka	47

Bab 18 Planset

Pengantar 49
Gambaran Planset 50
Pemakaian Planset 52
Memasang dan Mengorientasikan Planset 53
Poligon 53
Metode Memancar 54
Pemotongan ke Depan, atau Metode Triangulasi Grafis 55
Pemotongan ke Belakang (Resection) 55
Masalah Dua-Titik 55
Masalah Tiga-Titik 56
Sipat Datar 57
Pemakaian Planset dalam Pekerjaan Konstruksi 58
Kebaikan dan Keburukan Planset 59
Saran-saran Praktis 60
Sumber-sumber Galat dalam Pekerjaan Planset 62
Kesalahan-kesalahan Besar 62
Soal-soal 63
Daftar Pustaka 64

Bab 19 Pengamatan-pengamatan Astronomis 65
Pengantar 65
Metode Sederhana Menentukan Meridian 67
Metode Bayang-bayang 67
Tinggi matahari Sama 67
Gambaran Ikhtisar Prosedur Umum untuk Penentuan Azimut astronomis 68
Almanak Astronomis 69
Definisi-definisi 69
Saat-saat Waktu 72
Kedudukan Bintang 74
Azimut dari Pengamatan Polaris 74
Hitungan untuk Azimut dari Pengamatan Polaris pada Sembarang Sudut-jam 75
Reduksi Pengamatan Polaris dengan Interpolasi Ganda 79
Pembuktian Pengamatan Lapangan 80
Menempatkan Polaris dalam Teropong 81
Saran-saran Praktis untuk Pengamatan Polaris 82
Azimut dari Pengamatan Matahari 83
Metode-metode Pelaksanaan Pengamatan Matahari dan Koreksi-koreksinya 83
Hitungan untuk Azimut dari Pengamatan Matahari 85
Penentuan Lintang (Latitude) dan Bujur (Longitude) 87
Penentuan Lintang 87
Penentuan Bujur 88
Sumber-sumber Galat dalam Pengamatan Astronomis 89
Kesalahan-kesalahan Besar 89
Soal-soal 89
Daftar Pustaka 91

Bab 20. Pengukuran Titik Kontrol 93
Pengantar 93
Datum-datum Acuan 95
Standard Ketelitian dan Spesifikasi untuk Pengukuran Titik Kontrol 96

Jaringan Titik Kontrol Nasional 97
Hirarki Jaringan Titik Kontrol Horisontal Nasional 97
Hirarki Jaringan Titik Kontrol Vertikal Nasional 99
Diskripsi Titik Kontrol 99
Triangulasi 101
Tinjauan-selidik (Reconnaissance) Triangulasi 102
Pengukuran Lapangan untuk Triangulasi 103
Peralatan Triangulasi (Triangulation Adjusment) 104
Poligon Saksama (Precise Traverse) 104
Trilaterasi 105
Sistem Pengukuran Kelembaman (Inertial Surveying Systems) 106
Sistem Doppler Satelit 108
Pengukuran Titik Kontrol Vertikal 111
Soal-soal 115
Daftar Pustaka 116

Pengantar 117
Proyeksi Kerucut Konformal Lambert (Lambert Conformal Conik Projection) 120
Proyeksi Merkator Melintang (Transverse) 121
Koordinat Bidang Negara Bagian dengan Pemrosesan Data Otomatik 123
Menghitung Koordinat Titik Poligon Negara Bagian 123
Pengukuran dari Satu Zone ke Zone lain 127
Proyeksi Universal Transverse Merkator (UTM) 128
Proyeksi-proyeksi Peta Lainnya 129
Soal-soal 130
Daftar Pustaka 132

Pengantar 133
Alas Hak-hak Tanah 135
Gambaran Hak Milik dengan Ukuran dan Perbatasan 136
Gambaran (Penjelasan) Hak Milik dengan Sistem Blok-dan-kapling 139
Gambaran Hak Milik dengan Koordinat 139
Pengkaplingan 141
Mempetak-petakkan Tanah 141
Pekerjaan Lapangan 143
Pendaftaran Hak Tanah 144
Sumber-sumber Galat 145
Kesalahan-kesalahan Besar 145
Soal-soal 145
Daftar Pustaka 148

Pengantar 149
Petunjuk-petunjuk Pengukuran Tanah Negara 150
Titik Pusat (Initial Point) 152
Meridian Utama (Principal Meridian) 152
Garis Basis (Base Line) 153

Paralel Standar (garis koreksi) 155
Meridian Pedoman 155
Bagian Luar Township, Garis Meridional, dan Garis Township 155
Penetapan Township 155
Pemecahan Segiempat (Quadrangle) menjadi Township 156
Pemecahan Township menjadi Section 157
Pemecahan Section 159
Section Pecahan 159
Catatan-catatan 160
Garis Besar Langkah-langkah Pemecahan 160
Penandaan Titik Sudut (Marking Corners) 160
Titik Sudut Saksi 162
Titik Sudut Tepi Air (Meander Corners) 162
Titik Sudut yang Hilang dan Tak-berbekas 163
Ketelitian Pengukuran Tanah Negara 163
Gambaran (Penjelasan) dengan Township, Section dan Pemecahan (Petak) yang lebih Kecil 164
Sumber-sumber Galat 164
Kesalahan-kesalahan Besar 165
Soal-soal 165
Daftar Pustaka 167

Bab 21 Pengukuran Konstruksi

Pengantar 169
Peralatan untuk Pengukuran Konstruksi 170
Titik Kontrol Horisontal dan Vertikal 171
Pemancangan untuk Jalur Pipa 173
Pemancangan Tanjakan Jalur Pipa 174
Pemancangan Bangunan (Gedung) 176
Pemancangan Jalan Raya 177
Pengukuran Konstruksi Lainnya 181
Sumber-sumber Galat 182
Kesalahan-kesalahan Besar 182
Soal-soal 183
Daftar Pustaka 184

Bab 22 Lengkungan Melingkar

Pengantar 185
Derajat Lengkungan 187
Penurunan Rumus-rumus 187
Penentuan Titik-titik Lengkungan (Curve Stationing) 189
Prosedur Umum Perancangan Lengkungan dengan Sudut Belokan memakai Teodolit Kompas atau Teodolit dan Pita 191
Menghitung Sudut Belokan dan Tali Busur (Declection Anglesand Chords) 192
Catatan Lengkungan 194
Prosedur Terperinci untuk Perancangan Lengkungan dengan Sudut Belokan memakai Teodolit Kompas atau Teodolit dan Pita 194
Pemasangan Alat pada Lengkungan 195
Perancangan Lengkungan dengan Sudut Belokan memakai Takimeter Elektronik 195
Perancangan Lengkungan dengan Simpangan (Offsets) 196

	Masalah-masalah Lengkungan Melingkar Khusus	199
	Melewatkan Lengkungan Melingkar melalui sebuah Titik Tertentu	199
	Perpotongan sebuah Lengkungan Melingkar	200
	Lengkungan-lengkungan Majemuk dan Berbalik	200
	Jarak Pandang pada Lengkungan Horisontal	201
	Sumber-sumber Galat	202
	Kesalahan-kesalahan Besar	202
	Soal-soal	202
	Daftar Pustaka	206
Bab 20	Lengkungan Parabolik	207
	Pengantar	207
	Persamaan Umum Lengkungan Parabolik	208
	Persamaan Lengkungan Parabolik Sama-tangen dalam Terminologi Pengukuran	209
	Hitungan Lengkungan Vertikal memakai Persamaan Parabolik	210
	Sifat Sama-tangen sebuah Parabola	212
	Hitungan-hitungan untuk sebuah Lengkungan Beda-tangen	213
	Titik Tinggi atau Rendah pada Lengkungan Vertikal	214
	Merencana Lengkungan Lewat sebuah Titik Tertentu	215
	Jarak-pandang	216
	Kesalahan-kesalahan Besar	217
	Soal-soal	217
	Daftar Pustaka	219
Bab 21	Volume	221
	Pengantar	221
	Metode-metode Pengukuran Volume	221
	Metode Tampang (Irisan) Melintang (Cross Section Method)	221
	Jenis-jenis Irisan (Tampang) Melintang	224
	Rumus Luas-ujung-purata (Average-End-Area Formula)	224
	Menentukan Luas Ujung	225
	Menghitung Perpotongan Lereng (Slope Intercepts)	227
	Rumus Prismoidal	228
	Hitungan Volume	230
	Metode Luas-Satuan atau Lubang Galian Sumbang (Borrow-pit method)	231
	Metode Luas-garis-tinggi (Countur-Area Method)	232
	Sumber-sumber Galat	232
	Kesalahan-kesalahan Besar	232
	Soal-soal	233
	Daftar Pustaka	235
Bab 22	Fotogrametri	237
	Pengantar	237
	Pemakaian Fotogrametri	238
	Kamera Udara	239
	Jenis-jenis Foto Udara	241
	Foto Udara Vertikal	241
	Skala Foto Udara Vertikal	243
	Koordinat Terestris (Tanah) dari Foto Vertikal Tunggal	245

Pergeseran Relief (Relief Displacement) pada Foto Vertikal 246
Tinggi Terbang Foto Vertikal 248
Paralaks Stereoskopik 249
Pandangan Stereoskopik 252
Pengukuran Paralaks Stereoskopik 253
Mesin-gambar (Plotters) Stereoskopik 254
Fotogrametri Analitis 257
Ortofoto 258
Titik Kontrol untuk Fotogrametri 258
Perencanaan Penerbangan 259
Sumber-sumber Galat dalam Fotogrametri 260
Kesalahan-kesalahan Besar 262
Soal-soal 262
Daftar Pustaka 264

Apendiks A Menguji dan Mengatur Instrumen
Apendiks B Geometri Koordinat dalam Hitungan Pengukuran Tanah
Apendiks C Program-program Komputer
Apendiks D Contoh Formulir Catatan
Apendiks E Tabel-tabel
Apendiks F Jawaban Soal-soal Terpilih

KATA PENGANTAR

Edisi Ketujuh dari *Elementary Surveying* ini memakai pendekatan yang sama dengan edisi-edisi sebelumnya dalam menyajikan sebuah buku teks yang mudah dibaca, berisi teori dasar dan bahan praktis untuk pemakaian di lapangan maupun di ruang kuliah. Dengan memasukkan fakta-fakta yang kurang dikenal tetapi berkaitan dengan dan menekankan aspek-aspek profesional pengukuran tanah, diharapkan dapat mendorong minat pada profesi bersejarah ini. Pembahasan tentang kemajuan-kemajuan teknologi yang mengarah ke perbaikan metode dan peralatan merupakan motivasi utama untuk memperbaiki buku ini.

Bab 1 sampai dengan 17 merupakan bahan untuk sebuah program (proyek) kuliah-tunggal yaitu pembuatan peta topografik dengan bagian-bagian yang lengkap termasuk teori galat (errors), pencatatan hasil pengukuran, pemakaian peralatan, metode-metode lapangan, hitungan dan prosedur-prosedur penggambaran.

Bab 18 sampai dengan 28 adalah pelajaran kedua yang merupakan materi kuliah yang lebih maju dan khusus, sambil memberi gambaran kepada para mahasiswa program studi-tunggal, tentang apa yang merupakan kelanjutannya. Bahan dalam teks tetapi tidak dibahas di ruang kuliah, akan tetap bermanfaat untuk pemakaiai di kemudian hari, karena para mahasiswa pengukuran tanah dan rekayasa (engineering) mungkin akan menyimpan buku-buku lanjutan untuk acuan selanjutnya dalam tugas profesional dan untuk persiapan ujian-ujian memperoleh lisensi juru-ukur.

Edisi-edisi yang lampau dan sekarang telah dilengkapi dengan gagasan dan timbangan buku dari banyak pengajar dan praktisi seperti ditunjukkan oleh daftar panjang nama-nama dalam bagian Ucapan Terima Kasih.

Di antara banyak perubahan yang memperbaiki dan memperbaharui buku ini adalah sebagai berikut:

Tiga bab (Pengukuran Linear, Sipat Datar, serta Teodolit Kompas dan Teodolit) telah dipecah masing-masing menjadi dua bab baru agar lebih baik susunannya dan menghasilkan pokok persoalan dengan keluasan yang memadai.

Bab-bab menenai Pengamatan Astronomis, Pengukuran untuk Konstruksi, Lengkungan Melingkar, dan Volume pada pokoknya telah dirubah.

Penekanan lebih besar diberikan pada jenis-jenis peralatan yang lebih baru, seperti instrumen-instrumen "stasiun kotah" (total station) dan teodolit digital dengan pembacaan otomatik. Foto-foto dan sifat-sifat instrumen telah dimutakhirkan.

Pemakaian instrumen EDM (EDMIs) dalam sebuah "cara pelacakan" (tracking mode) untuk pemancangan konstruksi dibicarakan pula.

Pembahasan tentang sistem-sistem Kelembaman (Inertial System) dan Satelit Doppler telah ditambah, dan diperkenalkan materi tentang sistem koordinat UTM.

Tiga program komputer, ditulis dalam BASIC untuk hitungan poligon, dan reduksi data azimut untuk pengamatan Polaris dan Matahari, termuat dalam Apendikx disertai soal-soal contoh untuk menggambarkan penerapannya.

Sebuah bab baru tentang Geometri Koordinat dalam hitungan pengukuran tanah telah ditambahkan dalam Apenxiks.

Perataan-perataan baru daripada datum-datum horizontal dan vertikal nasional, yang dibuat oleh the National Geodetic Survey, dibicarakan pula.

Bagian-bagian baru dalam bab Lengkungan Melingkar adalah Rancangan Lengkungan dengan Sudut Belokan (Deflection Angle) memakai Takimeter Elektronik ("instrumen stasiun kotah") dan Perpotongan Dua Lengkungan Melingkar.

Pengkaplingan yang bagus sebagai hasil penggambaran oleh komputer menunjukkan kemajuan di bidang ini sejak diterbitkannya Edisi Keenam.

Data baru tentang proyek-proyek pengukuran dan pemetaan oleh Pemerintah telah dicatat dan ditambah dengan butir-butir penjelasan tentang Pengukuran Tanah Negara.

Metode-metode reduksi jarak EDM, untuk mengoreksi penyimpangan vertikal daripada instrumen EDM (EDMI) dan teodolit yang dipasang di bawahnya, telah ditambahkan.

Liputan bab tentang astronomi diperluas dengan bagian singkat tentang Pengamatan untuk Lintang dan Bujur.

Peta Isogonik baru yang meliputi dua halaman menggantikan peta yang lama.

Beberapa saran lagi tentang penulisan catatan ukuran ditambahkan pada daftarr yang telah panjang.

Beberapa sifat khas lagi dari garis tinggi telah ditambahkan untuk memperbaiki tabulasi menyeluruh.

Formulir sipat datar resiprok telah diperbaiki.

Sebuah daftar acuan relevan yang terpilih telah ditambahkan sehabis tiap bab.

Materi tentang instrumen jenis lama agak dikurangi tetapi tidak dihilangkan. Pita baja, alat sipat datar sederhana (dumpy level), teodolit kompas dan planset masih dibuat, dijual dan dipakai oleh para mahasiswa dalam tahap-tahap pertama di banyak perguruan tinggi dan oleh banyak orang di lapangan. Alat-alat ini menggambarkan pokok-pokok dasar pengukuran tanah, misalnya teori galat (error), dengan memperkenalkan pengukuran-pengukuran kasar. Pertimbangan para pemula dapat lebih dimatangkan dengan membaca nonius dan pita ukur daripada menekan tombol dan memperoleh jawaban yang secara otomatis terpilih dan tercatat.

Titik-berat di dalam teks diletakkan pada teori galat, dan pada korelasi antara teori dan metode-metode lapangan yang praktis. Hampir 900 soal terdapat di tiap akhir bab dan di bagian belakang buku ini terdapat kira-kira seperempat jawabannya untuk membantu para mahasiswa untuk belajar sendiri.

Para insinyur, arsitek, ahli geologi dan kehutanan harus mampu membuat pengukuran dan menganalisa kesaksamaan dan ketelitian hasil yang diperoleh orang lain. Mereka seharusnya memenuhi syarat kemampuan untuk menempatkan dan mengatur mesin-mesin dengan benar, merancang gedung-gedung dan bangunan biasa lainnya, mengerti dan membuat peta-peta topografik sederhana. Masing-masing bidang ini dibahas, dan dikemukakan prosedur lapangannya yang benar untuk memperoleh kesaksamaan yang diinginkan.

Beberapa acuan tentang biaya dibicarakan pula agar para mahasiswa secara dini di dalam tugas di perguruan tinggi belajar mengenali tiga dasar praktek pengukuran tanah dan rekayasa, teori, penerapan dan biaya. Semua pengukuran tanah adalah merupakan perjuangan terus-menerus untuk mengurangi atau mengucilkan galat dan kesalahan besar. Di bagian akhir kebanyakan bab, para mahasiswa diingatkan akan hal ini dengan daftar galat dan kesalahan besar yang biasa terjadi.

Walaupun seluruh tujuh edisi mempertahankan judul *Elementary Surveying* (dengan demikian menghindari kembalinya ke edisi "pertama" lagi), isinya melewati batas tingkat dasar dalam hal isi dan cakupannya. Tetapi sejumlah besar bab memungkinkan mengikutsertakan atau menghilangkan beberapa pokok bahasan untuk menyesuaikan diri dengan waktu kuliah yang tersedia untuk para mahasiswa dalam pengukuran tanah, teknik sipil, kurikula rekayasa yang lain, arsitektur, geologi, pertanian dan kehutanan.

Bab-bab diatur dengan urutan yang paling memudahkan di banyak perguruan tinggi. Bahan-bahan dasar terkumpul dalam tujuh belas bab pertama. Teori dan pemakaian instrumen-instrumen dasar pengukuran terestris – pita, peralatan EDM, alat sipat datar, teodolit kompas, teodolit dan planset – dibicarakan secara terperinci dan dibahas pula peralatan jenis-jenis baru. Sembarang bab setelah bab 17 dapat dilewati tanpa kehilangan kesinambungan, walaupun ada beberapa yang cukup pendek sehingga cocok untuk sebuah penugasan (pekerjaan rumah).

Liputan terbatas pada pokok-pokok bahasan seperti astronomi lapangan, pengukuran batas dan fotogrametri, diberikan untuk menyesuaikan berbagai program yang ada. Sebagai contoh, bab pendek tentang pengukuran batas dimaksudkan agar para mahasiswa menyadari beberapa masalah yang terlibat dalam pengukuran dan pemindahan hak tanah serta persyaratan yuridis pendaftaran profesi. Beberapa pengajar memberikan pelajaran pengukuran tanah secara luas dan menginginkan para mahasiswanya memperoleh gambaran umum menyeluruh dari banyak fungsi pengukuran tanah. Ada keyakinan bahwa susunan dan cakupan bahan yang disajikan di sini akan mencukupi pula kebutuhan semacam itu.

Pengukuran dengan pita, pengukuran jarak elektronik, sipat datar, dan pemakaian teodolit kompas dan teodolit merupakan urutan yang dipakai karena para mahasiswa lebih mudah mendapat sedikit kelancaran kerja dengan peralatan yang diurutkan seperti ini. Susunan ini juga memungkinkan permulaan dan kelanjutan kerja lapangan dengan waktu kuliah dasar yang minimum, serta memungkinkan memulai hitungan serta penggambaran yang berhasil-guna wlaupun hanya sebentar di lapangan jika cuaca buruk terjadi.

Disadari adanya kesulitan menyelesaikan semua materi latar-belakang (konsepsi dasar profesi, sejarah, teori galat dan metode-metode pencatatan) sebelum mulai pekerjaan lapangan pada minggu pertama (selain pengukuran dengan langkah).

Namun demikian, para pengarang percaya bahwa topik-topik ini sudah semestinya mendahului teori dan pemakaian instrumen.

Perihal formulir catatan – sebuah bagian penting dari pengukuran tanah dan rekayasa

– dibicarakan dalam satu bab terpisah. Kebanyakan contoh formulir catatan dikumpulkan dalam Apendiks D, tidak tersebar di seluruh buku, sehingga dapat diketemukan dengan mudah.

BAGIAN

DUA

15 TAKIMETRI

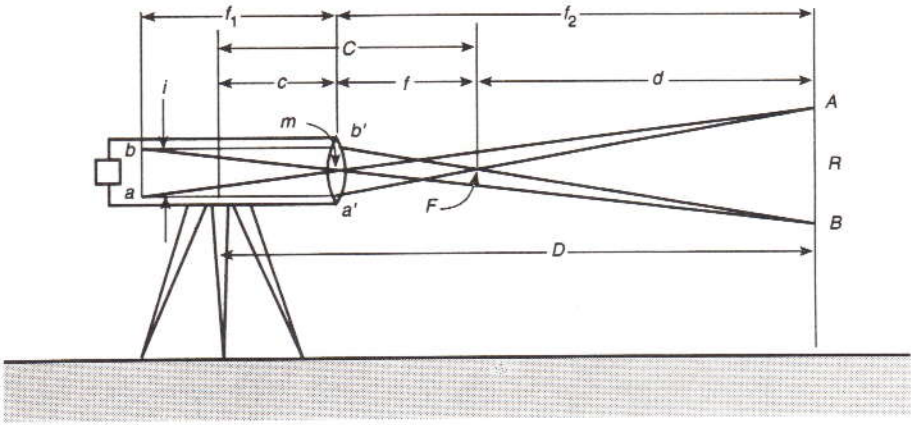
15.1. PENGANTAR. "Metode stadia", yang disebut "takimetri" di Eropa, adalah cara yang cepat dan efisien dalam mengukur jarak yang cukup teliti untuk sipat datar trigonometrik, beberapa poligon dan penentuan lokasi detail-detail topografik. Lebih lanjut, di dalam metode ini cukup dibentuk regu 2 atau 3 orang, sedangkan pada pengukuran dengan transit dan pita biasanya diperlukan 3 atau 4 orang.

Stadia berasal dari kata Yunani untuk satuan panjang yang asal-mulanya diterapkan dalam pengukuran jarak-jarak untuk pertandingan atletik – dari sinilah muncul kata "stadium" ("stadion") dalam pengertian modern. Kata ini menyatakan 600 satuan Yunani (sama dengan pengertian "feet"), atau 606 ft 9 in dalam ketentuan Amerika sekarang.

Istilah *stadia* sekarang dipakai untuk benang silang dan rambu yang dipakai dalam pengukuran, maupun metodenya sendiri. Pembacaan optis (stadia) dapat dilakukan dengan transit, teodolit, alidade dan alat sipat datar.

Peralatan stasiun-kotah yang baru, menggabungkan teodolit, EDMI, dan kemampuan mencatat-menghitung hingga reduksi jarak lereng secara otomatis dan sudut vertikal. Yang dihasilkan adalah pembacaan jarak horisontal dan selisih elevasi, bahkan koordinat. Jadi peralatan baru tadi dapat memperkecil regu lapangan dan mengambil alih banyak proyek takimetri. Namun demikian, prinsip pengukuran takimetri dan metodenya memberikan konsepsi-konsepsi dasar dan sangat mungkin dipakai terus-menerus.

15-2. PENGUKURAN TAKIMETRIS UNTUK TITIK BIDIK HORISONTAL. Selain benang silang tengah, diafragma transit atau teodolit untuk takimetri mempunyai dua benang



Gambar 15-1. Prinsip takimetri: teropong pumpunan-luar.

horisontal tambahan yang ditempatkan sama jauh dari benang tengah,s eperti pada Gambar 15-6. Interval antara benang-benang stadia itu pada kebanyakan instrumen memberikan perpotongan vertikal 1 ft pada rambu yang dipasang sejauh 100 ft (atau 1 m pada jarak 100 m). Jadi jarak ke rambu yang dibagi secara desimal dalam feet, persepuluhan dan perseratusan dapat langsung dibaca sampai foot terdekat. Ini sudah cukup saksama untuk menentukan lokasi detail-detail topografik seperti sungai, jembatan dan jalan, yang akan digambar pada peta dengan skala lebih kecil daripada 1 in = 100 ft, dan kadang-kadang bahkan untuk skala-skala lebih besar misalnya 1 in = 50 ft.

Metode takimetri didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding. Pada Gambar 15-1 yang menggambarkan *teropong pumpunan-luar,* berkas sinar dari titik *A* dan *B* melewati pusat lensa membentuk sepasang segitiga sebangun *AmB* dan *amb.* Di sini *AB* = *R* adalah perpotongan rambu (*interval stadia*) dan *ab* adalah selang antara benang-benang stadia.

Simbol-simbol baku yang dipakai dalam pengukuran takimetri dan definisinya adalah sebagai berikut:

f = *jarak pumpun* lensa (sebuah tetapan untuk gabungan lensa obyektif tertentu). Dapat ditentukan dengan pumpunan pada obyek yang jauh dan mengukur jarak antara pusat lensa obyektif (sebenarnya adalah titik simpul dengan diafragma.[1] (jarak pumpun = focal length)

f_1 = jarak bayangan atau jarak dari pusat (sebenarnya titik simpul) lensa obyektif ke bidang benang-silang sewaktu teropong terpumpun pada suatu titik tertentu.

f_2 = jarak obyek atau jarak dari pusat (sebenarnya adalah titik simpul) dengan diatitik tertentu sewaktu teropong terpumpun pada titik itu. Bila f_2 tak terhingga, atau amat besar, $f_1 = f$. [Lihat Pers. (6-6)].

i = selang antara benang-benang stadia (*ab* pada Gambar 15-1).

f/i = *faktor pengali,* biasanya 100. (stadia interval factor), biasanya 100.

c = jarak dari pusat instrumen (sumbu I) ke pusat lensa obyektif. Harga c sedikit beragam sewaktu lensa obyektif bergerak masuk atau ke luar untuk panjang bidikan berbeda, tetapi biasanya dianggap tetapan.

[1] Dalam sebuah sistem lensa, sembarang sinar di ruang obyek terarah ke pusat lensa pertama atau depan akan muncul di ruang bayangan dari pusat kedua (belakang) sejajar dengan arahnya semula. Jadi titik-titik pusat lensa menetapkan sumbu optis sistemnya.

C = $c + f$. C disebut *tetapan stadia*, walaupun sedikit berubah karena c.
d = jarak dari titik pumpun di depan teropong ke rambu.
D = $C + d$ = jarak dari pusat instrumen ke permukaan rambu.

Dari segitiga-segitiga sebangun pada Gambar 15-1.

$$\frac{d}{f} = \frac{R}{i} \quad \text{atau} \quad d = R\frac{f}{i}$$

dan

$$D = R\left(\frac{f}{i}\right) + C \tag{15-1}$$

Benang-benang silang jarak optis tetap pada transit, teodolit, alat sipat datar dan dengan cermat diatur letaknya oleh pabrik instrumennya agar faktor pengali f/i sama dengan 100. Tetapan stadia C berkisar dari kira-kira 0,75 sampai 1,25 ft untuk teropong-teropong pumpunan luar yang berbeda, tetapi biasanya dianggap sama dengan 1 ft. Satu-satunya variabel di ruas kanan persamaan, adalah R yaitu perpotongan benang-benang stadia. Pada Gambar 15-1, bila perpotongan R adalah 4,27 ft, jarak dari instrumen ke rambu adalah 427 + 1 = 428 ft.

Yang telah dijelaskan adalah teropong pumpunan-luar jenis lama, karena dengan gambar sederhana dapat ditunjukkan hubungan-hubungan dengan benar. Lensa obyektif *teropong pumpunan dalam* (jenis yang sekarang dipakai pada instrumen ukur tanah) mempunyai kedudukan terpasang tetap sedangkan lensa pumpunan negatif dapat digerakkan antara lensa obyektif dan bidang benang silang untuk mengubah arah berkas sinar. Hasilnya, tetapan stadia menjadi demikian kecil sehingga dapat dianggap nol.

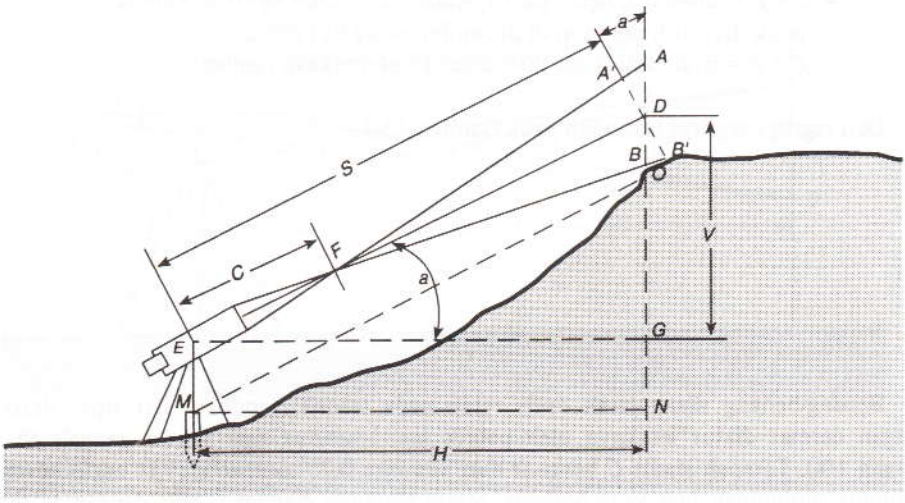
Benang stadia yang menghilang dulu dipakai pada beberapa instrumen lama untuk menghindari kekacauan dengan benang tengah horisontal. Diafragma dari kaca yang modern dibuat dengan garis-garis stadia pendek dan benang tengah yang penuh [lihat Gambar 10-6(c)] memberikan hasil yang sama secara lebih berhasil guna.

Faktor pengali harus ditentukan pada pertama kali instrumen dipakai, walaupun harga tepatnya dari pabrik yang ditempel di sebelah dalam kotak pembawa tak akan berubah kecuali benang-silang, diafragma, atau lensa-lensa diganti atau diatur pada model-model lama.

Untuk menentukan faktor pengali, perpotongan rambu R dibaca untuk bidikan horisontal berjarak diketahui sebesar D. Kemudian, pada bentuk lain Pers. (15-1), faktor pengali adalah $f/i = (D - C)/R$. Sebagai contoh, pada jarak 300,0 ft, interval rambu terbaca 3,01. Harga-harga untuk f dan c terukur sebesar 0,65 dan 0,45 ft berturut-turut; karenanya, C = 1,1 ft. Kemudian f/i = (300,0 − 1,1)/3,01 = 99,3. Ketelitian dalam menentukan f/i meningkat dengan mengambil harga pukul rata dari beberapa garis yang jarak terukurnya berkisar dari kira-kira 100 sampai 500 ft dengan kenaikan tiap kali 100 ft.

15-3. PENGUKURAN TAKIMETRI UNTUK BIDIKAN MIRING. Kebanyakan pengukuran takimetris adalah dengan garis bidik miring karena adanya keragaman topografi, tetapi perpotongan benang stadia dibaca pada *rambu tegak lurus* dan jarak miring "direduksi" menjadi jarak horisontal dan jarak vertikal.

Pada Gambar 15-2, sebuah transit dipasang pada titik M dan rambu dipegang pada titik O. Dengan benang silang tengah dibidikkan pada titik D sehingga DO sama dengan tinggi instrumen EM, sudut vertikalnya (sudut kemiringan) terbaca sebesar a. Perhatikan bahwa dalam pekerjaan takimetri tinggi instrumen (t.i.) adalah tinggi garis bidik diukur dari titik yang diduduki (*bukan* TI, tinggi di atas datum seperti dalam sipat datar).



Gambar 15-2. Pengukuran jarak optis miring.

Misalnya S adalah jarang miring ED; H adalah jarak horisontal $EG = MN$; dan V adalah jarak vertikal $DG = ON$. Selanjutnya

$$H = S \cos a$$
$$V = S \sin a$$

Jika seandainya rambu dapat dipegang tegaklurus garis bidik di titik O, pembacaan $A'B'$ adalah R' akan diperoleh, menjadi

$$S = R' \frac{f}{i} + C$$

Karena memegang rambu dengan miring sebesar a itu tidak praktis, maka ditegaklurus-kan dan dibaca AB atau R. Karena kebanyakan bidikan terbentuk sudut kecil di D, maka cukup teliti untuk menganggap sudut $AA'D$ siku-siku. Oleh karena itu

$$R' = R \cos a$$

dan

$$S = R \frac{f}{i} \cos a + C \qquad (15\text{-}1)$$

atau

$$H = R \frac{f}{i} \cos^2 a + C \cos a \qquad (15\text{-}2)$$

Untuk sudut-sudut kecil dan teropong pumpunan-luar, harga C mendekati 1 ft, dan

$$H = R \frac{f}{i} \cos^2 a + 1 \qquad (15\text{-}3)$$

Jika $f/i = K$, maka

$$H = KR \cos^2 a + 1 \tag{15-4}$$

Agar tidak ada perkalian R dengan $\cos^2 a$ yang merupakan angka desimal yang besar, rumus untuk H dapat ditulis kembali untuk pemakaian dalam hitungan menjadi

$$H = KR - KR \sin^2 a + C \tag{15-5}$$

Jarak vertikal diketemukan dengan rumus

$$V = S \sin a = \left(R \frac{f}{i} \cos a + C \right) \sin a$$

atau

$$V = R \frac{f}{i} \sin a \cos a + C \sin a \tag{15-6}$$

Untuk sudut-sudut kecil, sin a sangat kecil dan kuantitas C sin a dapat diabaikan. Dengan mengganti $\frac{1}{2}$ sin $2a$ untuk sin a cos a, rumusnya menjadi

$$V = KR(\tfrac{1}{2} \sin 2a) \tag{15-7}$$

Dalam bentuk akhir yang umum dipakai, K diambil sebesar 100 dan rumus-rumus untuk reduksi bidikan miring menjadi jarak horisontal dan jarak vertikal adalah

$$H = 100R - 100R \sin^2 a + 1 \quad \text{(pumpunan-luar)} \tag{15-8}$$

atau

$$H = 100R - 100R \sin^2 a \quad \text{(pumpunan-dalam)} \tag{15-8a}$$

dan

$$V = 50R \sin 2a \tag{15-9}$$

Tabel-tabel, diagram, mistar hitung khusus, dan kalkulator elektronik telah dipakai oleh para juru-ukur untuk memperoleh penyelesaian rumus-rumus ini dengan cepat. Tabel E-1 dalam Apendiks E memuat jarak-jarak horisontal dan vertikal untuk perpotongan rambu 1 ft dan sudut-sudut vertikal dari 0 sampai 16° (74 sampai 90° dan 90 sampai 106° untuk pembacaan-pembacaan dari zenit). Menggunakan tabel untuk mengecek reduksi catatan akan menumbuhkan penilaian atas kewajaran jawaban – suatu faktor rawan dalam praktek pengukuran tanah dan rekayasa.

Sebuah tabel tak dikenal harus selalu diselidiki dengan memasukkan harga-harga di dalamnya yang akan memberikan hasil yang telah diketahui. Sebagai contoh, sudut-sudut 5, 10, dan 15° dapat dipakai untuk mengecek hasil-hasil memakai tabel. Misalnya sebuah sudut vertikal 15°00′ (sudut zenit 75°), perpotongan rambu 1,00 ft dan tetapan stadia 1 ft, diperoleh hasil-hasil sebagai berikut. Dengan Tabel E-1,

$$H = 93{,}30 \times 1{,}00 + 1 = 94{,}3. \text{ atau } 94 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (15-8),

$$H = 100 \times 1{,}00 - 100 \times (0{,}259)^2 + 1 = 94{,}3, \text{ atau } 94 \text{ ft}$$

CONTOH 15-1

Misalkan dalam Gambar 15-2, elevasi M adalah 268,2 ft; t.i. = EM = 5,6 ft; perpotongan rambu AB = R = 5,28 ft; sudut vertikal a ke titik D dibaca 5,6 ft pada rambu adalah $+4°16'$; dan C = 1 ft. Hitunglah jarak H, beda elevasi V dan elevasi titik O.

PENYELESAIAN

Dari Tabel E-1, untuk sudut sebesar $4°16'$ (sudut zenit $85°44'$) dan perpotongan rambu 1 ft, jarak-jarak horisontal dan vertikal berturut-turut adalah 99,45 dan 7,42 ft. Selanjutnya

$$H = (99{,}45 \times 5{,}28) + 1 = 525{,}1 + 1 = 526 \text{ ft}$$

$$V = (7.42 \times 5{,}28) + 0{,}08 = 39{,}18 + 0{,}08 = 39{,}3 \text{ ft}$$

Elevasi titik O adalah

$$\text{elevasi } O = 268{,}2 + 5{,}6 + 39{,}3 - 5{,}6 = 307{,}5 \text{ ft} \qquad (15\text{-}10)$$

Rumus lengkap untuk menentukan selisih elevasi antara M dan O pada Gambar 15-2 adalah

$$\text{elev}_O - \text{elev}_M = \text{t.i.} + V - \text{pembacaan rambu}$$

Dari Pers. (15-10), keuntungan bidikan dengan pembacaan sebesar t.i. agar terbaca sudut vertikal, sudah jelas. Karena pembacaan rambu dan t.i. berlawanan tanda, bila harga mutlaknya sama akan saling menghilangkan dan dapat dihapuskan dari hitungan elevasi. Jika t.i. tak dapat terlihat karena terhalang, sembarang pembacaan rambu dapat dibidik dan Pers. (15-10) dipakai. Memasang benang silang tengah pada tanda satu foot penuh sedikit di atas atau di bawah t.i. menyederhanakan hitungannya.

Penentuan beda elevasi dengan takimetri dapat dibandingkan dengan sipat datar memanjang. T.i. sesuai sebuah bidikan plus, dan pembacaan rambu sesuai bidikan minus. Padanya ditindihkan sebuah jarak vertikal yang dapat plus atau minus, tandanya tergantung pada sudut kemiringan. Pada bidikan-bidikan penting ke arah titik-titik dan patok-patok kontrol, galat-galat instrumental akan dikurangi dengan prosedur lapangan yang baik menggunakan prinsip timbal-balik – yaitu, membaca sudut-sudut vertikal dengan kedudukan teropong biasa dan luar biasa.

Pembacaan langsung pada rambu dengan garis bidik horisontal (seperti pada sipat datar), bukan sudut vertikal, dikerjakan bila keadaan memungkinkan, untuk menyederhanakan reduksi catatan-catatan. Tinjauan pada Tabel E-1 menunjukkan bahwa untuk sudut-sudut vertikal di bawah kira-kira 4°, selisih antara jarak miring dan jarak horisontal dapat diabaikan kecuali pada bidikan jauh (di mana galat pembacaan-jarak juga lebih besar). Dengan demikian teropong boleh miring beberapa derajat untuk pembacaan jarak optis setelah membuat "bidikan depan" yang datar untuk memperoleh sudut vertikal).

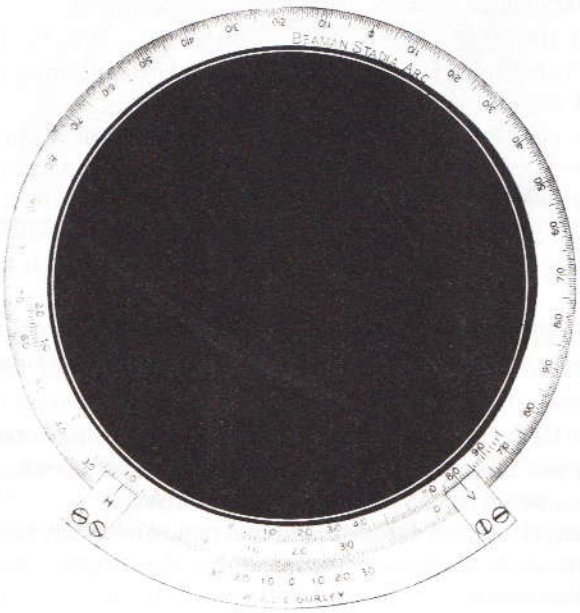
15-4. RAMBU TAKIMETRI. Berbagai jenis tanda dipakai pada rambu takimetri tetapi semua mempunyai bentuk-bentuk geometrik yang menyolok dirancang agar jelas pada jarak jauh. Kebanyakan rambu takimetri telah dibagi menjadi feet dan persepuluhan (perseratusan diperoleh dengan interpolasi), tetapi pembagian skala sistem metrik sedang menjadi makin umum. Warna-warna berbeda membantu membedakan angka-angka dan pembagian-pembagian skala.

Rambu-rambu takimetri biasa berbentuk satu-batang, lipatan atau potongan-potongan dengan panjang 10 atau 12 ft. Kalau dibuat lebih panjang dapat meningkatkan jarak-bidik tetapi makin berat dan sulit ditangani. Seringkali bagian bawah satu atau dua foot dari rambu 12 ft akan terhalang oleh rumput atau semak, tinggal sepanjang hanya 10 ft yang kelihatan. Panjang bidikan maksimum dengan demikian adalah kira-kira 1000 ft. Pada bidikan yang lebih jauh, setengah-interval (perpotongan antara benang tengah dan benang stadia atas atau bawah) dapat dibaca dan dilipatduakan untuk dipakai dalam persamaan reduksi takimetri yang baku. Bila ada benang-perempatan antara benang tengah dan benang stadia atas, secara teoritis dapat ditaksir jarak sejauh hampir 4000 ft. Pada bidikan pendek, mungkin sampai 200 ft, rambu sipat datar biasa seperti jenis Philadelphia sudah cukup memuaskan.

15-5. BUSUR BEAMAN. Busur Beaman (Gambar 15-3) adalah sebuah alat yang ditempatkan pada beberapa transit dan alidade untuk memudahkan hitungan-hitungan takimetris. Alat ini dapat merupakan bagian dari lingkaran vertikal atau sebuah piringan tersendiri. Skala-skala H dan V busur itu dibagi dalam persen. Skala V menunjukkan selisih elevasi tiap 100 f jarak lereng, sedangkan skala H memberikan *koreksi* tiap 100 ft untuk dikurangkan dari jarak takimetris. Karena V berbanding lurus dengan $\frac{1}{2}$ sin $2a$ dan koreksi untuk H tergantung pada $\sin^2 a$, selang-selang pembagian skala makin rapat bila sudut vertikal meningkat. Oleh karena itu nonius tidak dapat dipakai di sini, dan pembacaan tepat hanya dapat dilakukan dengan memasang busur pada pembacaan angka bulat.

Penunjuk skala-V (indeks) terpasang agar terbaca 50 (mungkin 30 atau 100 pada beberapa instrumen) bila teropong horisontal untuk menghindari harga-harga minus. Pembacaan lebih besar daripada 50 diperoleh untuk bidikan-bidikan di atas horison, lebih kecil dari 50 di bawahnya. Ilmu hitung yang diperlukan dalam pemakaian busur Beaman disederhanakan dengan memasang skala V pada sebuah angka bulat dan membiarkan benang silang tegah terletak di tempat dekat t.i. Skala H kemudian umumnya tak akan terbaca pada angka

Gambar 15-3. Busur Beaman (dan lingkaran vertikal). (Atas kebaikan W. & L.E. Gurley).



M I L I K
Perpustakaan Nasional
Perpustakaan Jawa Timur

bulat dan harga-harganya harus diinterpolasi. Ini tidak penting karena hitungannya tetap sederhana.

Elevasi sebuah titik B yang dibidik dengan transit terpasang di titik A didapat dengan rumus berikut:

$$\text{elev } B = \text{elev } A + \text{t.i.} + (\text{pembacaan busur} - 50)(\text{perpotongan rambu}) - \text{pembacaan rambu dengan benang tengah} \quad (15\text{-}11)$$

Anda harus memperhatikan dengan teliti tanda-tanda aljabarnya. Instrumen-instrumen lain mempunyai busur serupa disebut lingkaran stadia dengan skala V yang sama, tetapi skala H tidak memberikan koreksi persentase melainkan sebuah pengali (multiplier).

CONTOH 15-2

Misalnya pada Gambar 15-2 pembacaan skala-V busur Beaman adalah 56; pembacaan skala-H, 0,4; perpotongan rambu 6,28 ft; t.i. = 4,2 ft; pembacaan rambu dengan benang tengah 7,3 ft; $C = 0$; dan elevasi titik M adalah 101,5 ft. Hitunglah elevasi titik B.

PENYELESAIAN

$$\text{elev } O = 101.5 + 4.2 + (56 - 50)(6.28) - 7.3 = 136.1 \text{ ft}$$
$$H = (100)(6.28) - (0.4)(6.28) = 625 \text{ ft}$$

15-6. TAKIMETER SWA-REDUKSI. Takimeter swa-reduksi (Gambar 15-4) dan alidade telah dikembangkan di mana garis-garis lengkung stadia nampak bergerak memisah atau saling mendekat sewaktu teropong diberi elevasi atau junam. Sebenarnya, garis-garis itu digoreskan pada sebuah piringan kaca yang berputar mengelilingi sebuah sumbu (terletak di luar teropong) sewaktu teropong dibidikkan ke sasaran.

Pada Gambar 15-5 (yang tidak berlaku untuk DK-RV Gambar 15-4), garis-garis atas dan bawah (dua garis luar) melengkung untuk menyesuaikan dengan keragaman dalam fungsi trigonometrik $\cos^2 a$ dan dipakai untuk pengukuran jarak. Dua garis dalam menentukan selisih elevasi dan melengkung untuk menggambarkan fungsi $\sin a \cos a$. Sebuah garis vertikal, tanda silang tengah, dan garis-garis stadia pendek merupakan tanda pada piringan gelas kedua yang terpasang tetap, terpumpun serentak dengan garis-garis lengkung.

Sebuah tetapan faktor pengali 100 dipakai untuk jarak horisontal. Faktor 20, 50, atau 100 diterapkan pada pengukuran beda tinggi. Harganya tergantung pada sudut lereng dan ditunjukkan oleh garis-garis pendek ditempatkan antara kurve-kurve elevasi.

Takimeter "diagram" lainnya pada dasarnya bekerja atas prinsip yang sama: Sudut vertikal secara otomatis dipampas oleh pisahan garis stadia yang beragam. Sebuah takimeter swa-reduksi memakai sebuah garis horisontal tetap pada sebuah diafragma dan garis horisontal lainnya pada diafragma kedua yang dapat bergerak, yang bekerja atas dasar perubahan sudut vertikal. Kebanyakan alidade planset memakai suatu jenis prosedur reduksi takimetrik.

Sebuah Rambu Topo khusus yang berkaki dapat-dipanjangkan dengan angka nol terpasang pada t.i., biasanya dianjurkan untuk dipakai agar instrumen takimetri xepenuhnya swa-baca.

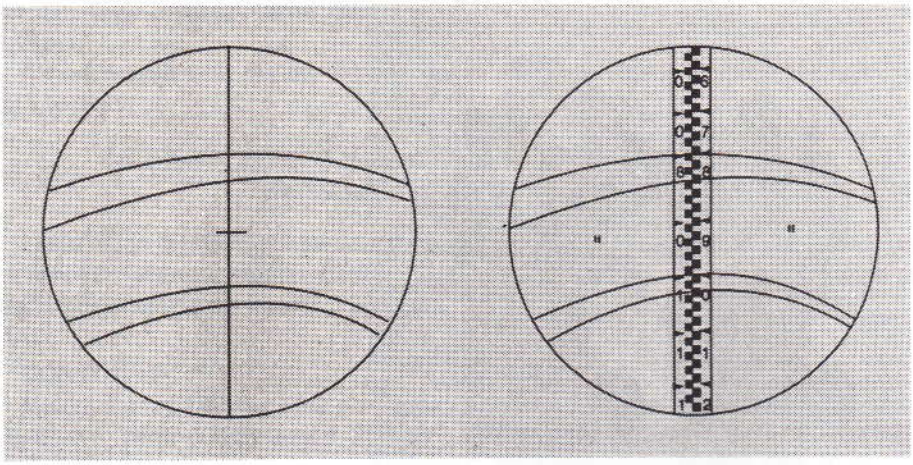
15-7. CATATAN LAPANGAN. Contoh catatan lapangan takimetri tercantum dalam Gambar D-9. Transit atau teodolitnya biasanya diorientasikan dengan azimut meridional, dan diambil pembacaan sudut searah jarum jam ke titik-titik yang dikehendaki.

Dalam pekerjaan takimetri, banyak bidikan dapat diambil dari satu patok. *Oleh karena itu orientasi harus dicek dengan membidik pada garis kontrol setelah tiap 10 atau 20 titik topografik dan sebelum meninggalkan patok.*

Gambar 15-4. Takimeter reduksi DK-RV. (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.)

Seperti dikemukakan sebelumnya, pada tanah yang hampir datar sebaiknya tidak dipakai bidikan miring tetapi bidikan horisontal bila mungkin. Selanjutnya pembacaan-pembacaan rambu menjadi bidikan minus, seperti dalam sipat datar profil. Prosedur ini mengurangi kemungkinan salah dan menyederhanakan hitungan.

Kolom-kolom dalam catatan disusun sesuai urutan pembacaan – titik dibidik, perpotongan rambu, azimut, dan sudut vertikal. Sebuah sketsa dan data yang berkaitan ditempatkan seperti biasanya yaitu pada halaman kanan. Pemberian nomor titik-titik topografik mulai dengan 1 di patok pertama dan berturut-turut berlanjut searah jarum jam lewat semua lainnya untuk menghindari kemungkinan nomor rangkap pada sketsa. Reduksi catat-



Gambar 15-5. Garis-garis stadia lengkung. Kiri: Bidang teropong tanpa rambu. Kanan: Bidang teropong dengan rambu (jarak horisontal = 100 x 0,227 = 22,7 m; selisih tinggi = 20 x 0,167 = 3,30 m). (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.).

an dikerjakan di kantor, kecuali diperlukan segera adanya informasi untuk kontrol atau penggambaran pada bidang planset.

Metode-metode yang lebih baru menggunakan pengumpul data untuk mempercepat pembuatan catatan dan mengurangi pembuatan tabel. Tetapi pencatat masih harus membuat sketsa.

15-8. PROSEDUR LAPANGAN. Prosedur lapangan yang benar menghemat waktu dan mengurangi sejumlah kesalahan dalam semua pekejaaan ukur tanah. Urutan pembacaan yang paling sesuai *untuk pekerjaan takimetri yang melibatkan sudut vertikal* adalah sebagai berikut:

1. Bagi dua rambu dengan benang vertikal.
2. Dengan benang tengah kira-kira di t.i., letakkan benang bawah pada tanda sebuah foot bulat, atau desimeter pada rambu metrik.
3. Baca benang atas, dan di luar kepala kurangkan pembacaan benang bawah dari padanya, untuk memperoleh perpotongan rambu. Catat (atau serukan kepada pencatat) hanya perpotongan rambu saja.
4. Gerakkan benang tengah ke t.i. dengan memakai sekrup penggerak halus vertikal.
5. Perintahkan pemegang rambu untuk pindah ke titik berikutnya dengan tengara yang benar.
6. Baca dan catatlah sudut horisontalnya.
7. Baca dan catatlah sudut vertikalnya.

Prosedur ini menyebabkan pemegang instrumen dapat membuat sibuk sekaligus dua atau tiga petugas rambu di tanah terbuka di mana titik-titik yang akan ditetapkan lokasinya terpisah jauh. Urutan yang sama dapat dipakai bila menggunakan busur Beaman, tetapi pada langkah 4 skala V ditepatkan pada sebuah angka bulat, dan pada langkah 7 pembacaan-pembacaan skala-H dan skala-V dicatat.

Sewaktu membaca jarak optis setelah benang bawah ditepatkan pada sebuah tanda foot bulat, benang tengah tidak tepat pada t.i. atau pembagian skala terbaca untuk sudut vertikal. Ini biasanya tidak menyebabkan galat yang berarti dalam proses reduksi kecuali

pada bidikan-bidikan panjang dan sudut-sudut vertikal curam. Bila rambu tidak tegaklurus tentu saja akan menyebabkan galat-galat yang berarti, dan untuk mengatasi masalah ini dipakai nivo rambu.

15-9. POLIGON TAKIMETRI. Dalam poligon transit-optis, jarak, sudut horisontal dan sudut vertikal diukur pada tiap titik. Reduksi catatan sewaktu pengukuran berjalan menghasilkan elevasi untuk dibawa dari patok ke patok. Harga jarak optis rata-rata dan selisih elevasi diproleh dari bidikan depan dan belakang pada tiap garis. Pengecekan elevasi harus diadakan dengan jalan kembali ke titik awal, atau titik tetap duga di dekatnya untuk poligon terbuka. Walaupun tidak seteliti poligon dengan pita, sebuah regu yang terdiri atas tiga anggota – seorang pemegang instrumen, pencatat, dan petugas rambu – merupakan kebiasaan. Seorang petugas rambu lagi dapat mempercepat pekerjaanbila banyak detail tersebar luas.

Sudut-sudut horisontal juga harus dicek kesalahan penutupnya. Bila ada kesalahan penutup sudut harus diratakan, ΔY dan ΔX dihitung dan kesaksamaan poligon dicek dengan metode-metode pada Bab 13.

15-10. TOPOGRAFI. Metode takimetri itu paling bermanfaat dalam penentuan lokasi sejumlah besar detail topografik, baik horisontal maupun vertikal, dengan transit atau planset. Di wilayah-wilayah perkotaan, pembacaan sudut dan jarak dapat dikerjakan lebih cepat daripada pencatatan pengukuran dan pembuatan sketsa oleh pencatat.

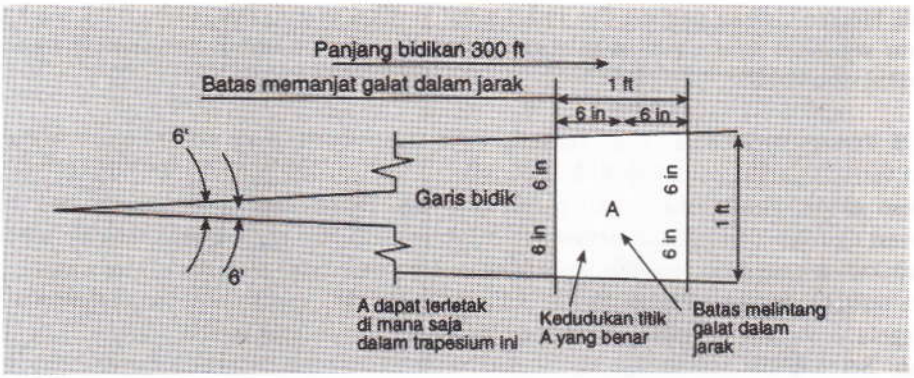
Pemakaian takimetri dalam pekerjaan topografik diliput lebih mendetail dalam bab-bab tentang topografi dan planset.

15-11. SIPAT DATAR TAKIMETRIS. Metode takimetri dapat dipakai untuk sipat datar trigonometrik. TI (tinggi instrumen di atas datum) ditentukan dengan membidik pada stasiun yang diketahui elevasinya, atau dengan memasang instrumen pada titik semacam itu dan mengukur tinggi sumbu II di atasnya dengan rambu takimetri. Selanjutnya elevasi titik sembarang dapat dicari dengan hitungan dari perpotongan rambu dan sudut vertikal. Jika dikehendaki dapat dilakukan untai sipat datar untuk menetapkan dan mengecek elevasi dua titik atau lebih.

15-12. KESAKSAMAAN (PRECISION). Sebuah perbandingan galat (ratio or error) $\frac{1}{300}$ sampai $\frac{1}{500}$ dapat diperoleh untuk poligon transit-optis yang dilaksanakan dengan kecermatan biasa dan pembacaan baik bidikan depan, dan bidikan belakang. Ketelitian dapat lebih baik bila bidikan-bidikan pendek pada poligon panjang dengan prosedur-prosedur khusus. Galat-galat dalam pekerjaan takimetri biasanya bukan karena sudut-sudut tidak benar tetapi karena pembacaan rambu yang kurang benar. Galat 1 menit pada pembacaan sebuah sudut vertikal tidak memberikan pengaruh yang berarti pada jarak horisontal. Galat 1 menit tadi menyebabkan selisih elevasi kurang dari 0,1 ft pada bidikan 300 ft untuk sudut-sudut vertikal ukuran biasa.

Gambar 15-6 menunjukkan bahwa bila jarak optis ditentukan sampai foot terdekat (kasus umum), sudut-sudut horisontal *ke titik-titik topografik* hanya perlu dibaca sampai batas 5 atau 6 menit untuk memperoleh kesaksamaan yang sebanding pada bidikan 300 ft. Jarak optis yang diberikan sampai foot terdekat dianggap benar sampai batas kira-kira $\frac{1}{2}$ ft. Dengan galat jarak memanjang $\frac{1}{2}$ ft itu, arahnya dapat menyimpang sebesar 5 menit (mudah dihitung dari sin 1 menit = 0,00029). Bila dipakai transit Amerika, karenanya sudut-sudut dapat dibaca tanpa nonius, hanya dengan mengira kedudukan penunjuk nonius.

Ketelitian sipat datar trigonometrik dengan jarak optis tergantung pada panjang bidikan dan ukuran sudut vertikal yang diperlukan.



Gambar 15-6. Perbandingan kesaksamaan sudut-sudut dan jarak-jarak optis.

15-13. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM PEKERJAAN TAKIMETRI. Galat-galat yang terjadi pada pekerjaan dengan transit dan teodolit, juga terjadi pada pekerjaan takimetri. Sumber-sumber galat lainnya adalah:

GALAT-GALAT INSTRUMENTAL

1. Benang takimetri yang jaraknya tidak benar.
2. Galat indeks.
3. Pembagian skala rambu yang tak benar
4. Garis bidik transit tidak sejajar garis arah nivo teropong.

GALAT-GALAT PRIBADI

1. Rambu tak dipegang tegak. (Hindari dengan memakai nivo rambu).
2. Salah pembacaan rambu karena bidikan jauh.
3. Kelalaian mendatarkan untuk pembacaan busur vertikal.

Kebanyakan galat dalam pekerjaan takimetri dapat dihilangkan dengan (a) menggunakan instrumen dengan benar, (b) membatasi panjang bidikan, (c) memakai rambu dan nivo rambu yang baik, dan (d) mengambil harga rata-rata pembacaan dalam arah ke depan dan ke belakang. Galat garis bidik tidak dapat dibetulkan dengan prosedur lapangan – instrumen harus diatur.

15-14. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan yang biasa dalam pekerjaan takimetri adalah:

1. Galat indeks diterapkan dengan tanda yang salah.
2. Kekacauan tanda plus dan minus pada sudut-sudut vertikal.
3. Kesalahan aritmetik dalam menghitung perpotongan rambu.
4. Pemakaian faktor pengali yang tidak benar.
5. Mengayunkan rambu. (*Rambu harus selalu dipegang tegaklurus*).

SOAL-SOAL

15-1. Atas dasar prinsip apakah metode takimetri itu?

15-2. Kapankah menguntungkan bila memakai sebuah transit sebagai alat sipat datar dalam pekerjaan takimetri?

15-3. Apakah anggapan yang ada dalam rumus takimetri untuk bidikan miring agar sederhana?
15-4. Terangkan mengapa "tetapan" stadia hampir nol untuk teropong pumpunan-dalam?
15-5. Mengapa garis bidik melalui benang silang bawah harus diusahakan selalu beberapa feet di atas tanah yang menonjol ke atas bila mungkin?
15-6. Berapa faktor pengali yang dulu dipakai pada beberapa alat sipat datar "saksama" model lama?
15-7. Sebuah teropong pumpunan-luar mempunyai jarak fokus 10 in. Berapa galat selang benang-benang stadia yang mengubah interval dari 100,00 menjadi 99,70?
15-8. Mengapa lebih sulit memperoleh kesalahan penutup elevasi yang baik daripada kesalahan penutup panjang jarak yang baik, pada pengukuran takimetri dengan transit?
15-9. Apakah takimetri metode batang-ukur jarak terletak pada sebuah bidang datar horisontal? Terangkan.
15-10. Mengapa amat penting dalam pekerjaan takimetri untuk mempunyai garis bidik instrumen sejajar dengan garis arah nivo teropong?
15-11. Sebutkan keuntungan-keuntungan sebuah busur takimetri Beaman dalam pembacaan selisih-selisih jarak dan elevasi.
15-12. Mengapa skala-skala busur Beaman harus dicek dengan cermat sebelum pemakaian?
15-13. Uraikan pentingnya warna-warna cat pada rambu takimetri.
15-14. Haruskah kedua nonius A dan B pada transit dibaca dalam pekerjaan takimetri? Terangkan.
15-15. Mengapa harus diadakan bidikan ke depan dan ke belakang pada tiap jurusan dalam mengukur poligon takimetris?
15-16. Bagaimana sebuah poligon jarak optis terbuka dapat dicek?
15-17. Bagaimana sebuah pembacaan sudut vertikal dapat dicek di lapangan bila memakai transit dengan faktor pengali 100?
15-18. Hitung galat jarak bila puncak rambu takimetri 12 ft miring sejauh 6 in ke arah pengamat dan perpotongan rambu adalah 6,00 ft pada bidikan horisontal.
15-19. Seorang pemegang instrumen pada bidikan optis dengan transit tidak dapat menempatkan benang tengah pada t.i. atau melihat benang atas karena adanya cabang pohon yang menjorok. Bagaimana dapat ditemukan jarak dan selisih elevasi?

Hitung jarak-jarak horisontal dan selisih-selisih elevasi untuk data dalam Soal 15-20 dan 15-21.

15-20. Perpotongan rambu = 5,54 ft, $a = -4°10'$, $K = 99{,}0$, $C = 0$.
15-21. Perpotongan rambu = 6,17 ft, $a = +6°12'$, $K = 100$, $C = 1{,}2$ ft.

Hitunglah perpotongan rambu untuk catatan-catatan dalam Soal 15-22 dan 15-23.

15-22. Jarak horisontal = 200 ft, $a = 5°00'$ (pada t.i.), $K = 98{,}0$, $C = 0$.
15-23. Jarak horisontal = 135,0 ft, $a = +7°00'$ (pada t.i.), $K = 101{,}4$, $C = 0$.
15-24. Ketentuan-ketentuan untuk sebuah poligon jarak optis memerlukan batas ketelitian $\frac{1}{500}$. Di atas sudut vertikal berapakah bidikan miring harus direduksi ke horisontal?
15-25. Serupa Soal 15-24, kecuali untuk ketelitian $\frac{1}{800}$.

Pada patok X, dibidikkan alat ke BM Plug, elevasi 175,0 ft. Hitung elevasi patok X pada Soal 15-26 dan 15-27.

15-26. $S = 400$ ft, $a = +1°30'$ sampai 7,00 pada rambu, t.i. = 4,8 ft, $C = 1{,}0$.
15-27. $S = 299$ ft, $a = +2°20'$ sampai 9,6 ft pada rambu, t.i. = 5,0 ft, $C = 0$.

Hitung jarak horisontal AB dan elevasi B untuk pembacaan busur Beaman diambil di A, elevasi = 345,6 ft, t.i. = 5,3 ft, untuk Soal 15-28 dan 15-29. Dasar indeks skala-V adalah 50.

15-28. $R = 2{,}80$, skala V terbaca 78 sampai 6,7 ft pada rambu, dan skala H = 9.
15-29. $R = 3{,}20$, skala V terbaca 72 sampai 5,8 ft pada rambu, dan skala H = 5.

Seberapa dekat sudut-sudut harus dibaca untuk kesaksamaan sudut dan jarak optis yang panggah dalam Soal 15-30 sampai dengan 15-32.

15-30. Sebuah bidikan 650 ft, $C = 0$.

15-31. Sebuah bidikan 200 m, $C = 0$.

15-32. Sebuah bidikan 800 ft (ditaksir sampai 5 ft terdekat), $C = 1{,}0$ ft.

Pada patok E, elevasi 640,0 dibuat bidikan depan pada patok F; instrumen dipindah ke F, dan dibuat bidikan belakang pada E. Hitunglah jarak EF dan elevasi patok F pada Soal 15-33 dan 15-34.

15-33. Di E, $R = 4{,}52$, $a = -3^\circ 15'$ sampai 7,2 pada rambu, t.i. = 5,1 ft.
Di F, $R = 4{,}50$, $a = +3^\circ 18'$ sampai 3,5 pada rambu, t.i. = 5,2 ft.

15-34. Di E, $R = 2{,}82$, $a = +1^\circ 52'$ sampai 7,6 pada rambu, t.i. = 5,4 ft.
Di F, $R = 2{,}82$, $a = -1^\circ 46'$ sampai 3,3 pada rambu, t.i. = 4,9 ft.

DAFTAR PUSTAKA

Colcord, J.E. 1971. "Takimetri dalam Rekayasa Pengukuran". *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 97(no. SU1): 39.

Harrington, E.L. 1955 "Takimetri Metode Loncat." *Surveying and Mapping* 15(no. 4):4.

Mussetter, W. 1953. "Ciri-ciri Khas Takimetri Teropong Pumpunan Dalam." *Surveying and Mapping* 13(no. 1): 15.

Wolf, P.R., B. Wilder, dan G. Mahun. 1978. "Sebuah Evaluasi Ketelitian dan Pemakaian Takimetri." *Surveying and Mapping* 38(no. 3): 231.

16 PENGUKURAN TOPOGRAFIK

16-1. PENGANTAR. Pengukuran topografik dilaksanakan untuk menentukan perubahan (*relief*) permukaan bumi dan untuk penentuan letak lokasi ciri-ciri *alamiah* dan *kebudayaan* di atasnya. Dengan bantuan berbagai garis dan simbul-simbul konvensional, peta-peta topografik dihasilkan dari data pengukuran. Peta topografik adalah penyajian dari sebagian pemukaan bumi memperlihatkan *kebudayaan, relief, hidrografi,* dan mungkin tumbuh-tumbuhan. Ciri-ciri kebudayaan (buatan) adalah produk manusia, misalnya jalan, jalan setapak, gedung, jembatan, saluran, dan garis batas. Nama-nama dan legenda pada peta memberi nyata-diri ciri-ciri itu.

Peta topografik dibuat dan dipakai oleh insinyur dalam menentukan lokasi-lokasi yang paling dikehendaki dan ekonomis untuk jalan raya, jalan baja, saluran, jalur pipa, jalur listrik, waduk, dan fasilitas-fasilitas lain; oleh ahli geologi untuk menyelidiki mineral, minyak, air, dan sumber-sumber daya lain; oleh ahli kehutanan untuk menentukan lokasi jalan dan menara pengendalian kebakaran; oleh arsitek dalam perancangan perumahan dan pertamanan; oleh ahli pertanian dalam pekerjaan pengawetan tanah; dan oleh ahli-ahli arkeologi, geografi dan ilmuwan dalam banyak bidang.

Peta pianimetrik menggambarkan ciri-ciri alamiah dan budaya hanya pada bidang datar saja. *Peta hipsometrik* memperlihatkan relief dengan konvensi-konvensi misalnya garis tinggi, arsiran, pemberian bayang-bayang dan memberi warna.

16-2. METODE-METODE UNTUK PENGUKURAN TOPOGRAFIK. Pengukuran topografik dilaksanakan dengan metode fotogrametrik atau metode terestris, dan sering gabung-

an dari keduanya. Peralatan dan prosedur telah diperhalus yang ada sekarang telah membuat fotogrametri menjadi teliti dan ekonomis; karenanya, hampir semua proyek pemetaan topografik yang meliputi wilayah luas memakai metode ini. Namun pengukuran terestris masih sering dipakai, terutama untuk menyiapkan peta-peta skala besar dari wilayah-wilayah kecil. Bahkan walaupun dipakai fotogrametri, pengukuran terestris diperlukan untuk menetapkan titik-titik kontrol dan mengadakan pengecekan lapangan ciri-ciri yang dipetakan untuk memperoleh ketelitian. Bab ini menitikberatkan pada metode-metode terestris. Akan dibicarakan beberapa prosedur lapangan untuk menetapkan lokasi ciri-ciri topografik, baik secara horisontal maupun vertikal. Fotogrametri dibicarakan dalam Bab 28.

16-3. TITIK TETAP (TITIK KONTROL) UNTUK PENGUKURAN TOPOGRAFIK. Persyaratan pertama untuk suatu pengukuran topografik adalah titik kontrol yang baik, apakah pengukuran dikerjakan dengan metode terestris atau metode fotogrametrik. Titik kontrol, yang dibicarakan pada Bab 20, diklasifikasikan sebagai horisontal dan vertikal.

Titik kontrol horisontal merupakan dua titik atau lebih di tanah, yang ditetapkan dengan saksama kedudukan horisontalnya dengan jarak dan arah. Titik kontrol horisontal biasanya ditetapkan dengan pengukuran poligon, triangulasi, trilaterasi, atau metode-metode kelembaman dan satelit, dan dapat ditebarkan di wilayah luas secara fotogrametris. fotogrametris.

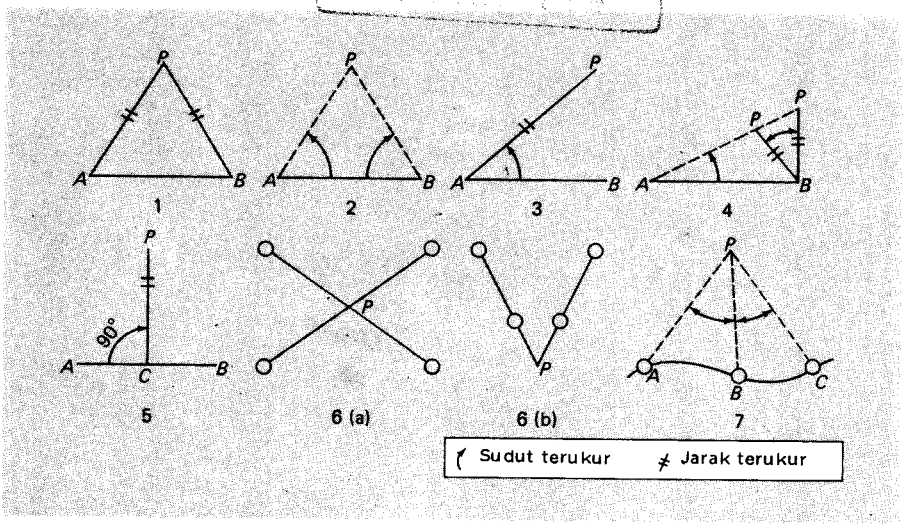
Untuk wilayah kecil, titik kontrol horisontal untuk pekerjaan topografik biasanya ditetapkan dengan poligon, walaupun dalam beberapa kasus sebuah garis tunggal mungkin telah cukup. Triangulasi dan trilaterasi merupakan cara penetapan titik kontrol dasar paling ekonomis untuk pengukuran membentang sebuah negara bagian atau seluruh Amerika Serikat. Tetapi teknik-teknik ini di kemudian hari mungkin diganti oleh sistem-sistem kelembaman dan pesawat penerima doppler satelit. Tugu-tugu sistem koordinat bidang negara bagian sudah bagus sekali untuk segala macam pekerjaan, tetapi sayang di kebanyakan wilayah masih diperlukan lebih banyak lagi.

Kesalahan penutup maksimum yang dibolehkan untuk titik kontrol horisontal dan vertikal harus ditetapkan lebih dulu sebelum pekerjaan lapangan.

Titik kontrol vertikal diberikan oleh titik-titik tetap-duga (bench marks) pada atau dekat bidang tanah yang diukur. Ini menjadi dasar untuk menggambarkan relief dengan benar pada sebuah peta. Jaringan titik-titik kontrol vertikal ditetapkan dengan jalur-jalur sipat datar dari dan kembali pada titik-titik tetap duga. Elevasi dipastikan untuk semua patok poligon, dengan persediaan beberapa titik dipasang di dekat dan di luar wilayah konstruksi dalam beberapa kasus. Permukaan danau merupakan sebuah titik balik atau titik tetap duga malar dan kadang-kadang boleh dipakai. Bahkan sungai yang mengalir tenang dapat dipakai sebagai titik kontrol pelengkap. Sipat datar trigonometrik dan barometrik dapat dipakai untuk meluaskan titik-titik kontrol vertikal di tanah berbukit-bukit, namun yang akhir ini kurang akurat.

Detail-detail topografik biasanya diikatkan pada sebuah jaringan patok-patok poligon yang kedudukan dan elevasinya telah ditetapkan. Galat-galat yang terjadi pada kedudukan atau elevasi patok akan tercermin dalam lokasi topografi. Oleh karena itu disarankan untuk mengadakan pengukuran, mengecek dan meratakan poligon dan untai sipat datar sebelum pengukuran detail topografik dimulai, dan bukan melaksanakan kedua proses secara serentak. Ini terutama benar dalam pekerjaan dengan planset, di mana galat dalam elevasi atau posisi titik stasiun yang diduduki akan menggeser lokasi-lokasi semua ciri budaya dan garis tinggi, yang tergambar.

Galat-galat pengukuran lapangan lebih sulit dihilangkan daripada galat-galat dalam prosedur pemetaan. Sekalipun menggambar pengukuran yang telah dilaksanakan sampai 0,01 ft terdekat dan 1 sekon terdekat itu tidak mungkin, dapat saja data itu dipakai



Gambar 16-1. Menentukan lokasi sebuah titik *P*.

untuk tujuan-tujuan lain. Jadi diperlukan perhatian khusus dalam mengambil dan mencatat data lapangan.

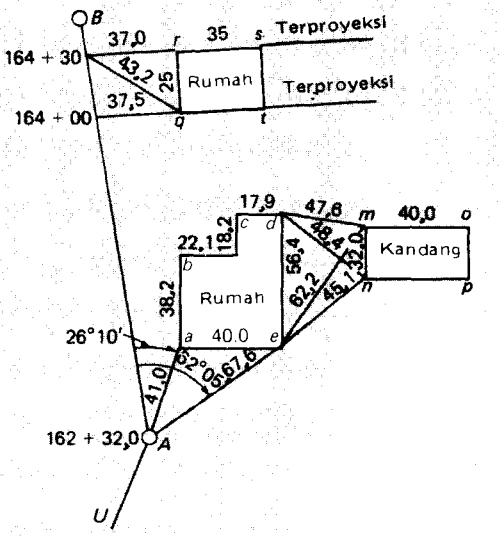
Jenis titik kontrol (poligon, triangulasi, atau trilaterasi) dan metode yang dipilih untuk memperoleh detail-detail topografik menentukan kecepatan, biaya, dan hasilguna sebuah pengukuran topografik. Gabungan teodolit–EDMI, instrumen stasiun-kotah dengan sistem pelacak, perlengkapan penyimpanan data, dan perekam suara plus sistem komunikasi untuk penjelasan, memudahkan tugas pencatat dan mengurangi galat-galat lapangan. Tetapi sketsa-sketsa masih harus dibuat dalam buku lapangan. Berbagai gabungan peralatan dapat dipilih untuk metode lokasi yang dibicarakan dalam paragraf-paragraf berikut.

16-4. CARA MENEMPATKAN DETAIL TOPOGRAFIK DI LAPANGAN. Obyek-obyek yang ditentukan lokasinya dalam sebuah pengukuran dapat berkisar dari titik-titik tunggal sampai sungai berkelok-kelok dan bentukan geologis yang ruwet. Proses pengikatan detail-detail topografik pada jaringan titik kontrol disebut *pengukuran detail.*

Tujuh cara yang dipakai untuk menentukan lokasi sebuah titik *P* di lapangan digambarkan pada Gambar 16-1. Semua didasarkan pada titik kontrol horisontal. Sebuah garis *AB*, harus ditetapkan pada masing-masing empat cara pertama, dan panjangnya diketahui pada cara 1, 2 dan 4. Kedudukan tiga titik harus diketahui atau dapat dikenal untuk penerapan cara ketujuh yang disebut *pemotongan ke belakang* atau *soal tiga-titik.* Kuantitas yang diukur dalam urutan diagram-diagram adalah:

1. Dua jarak.
2. Dua sudut.
3. Satu sudut dan jarak di sampingnya.
4. Satu sudut dan jarak di hadapannya (dua kemungkinan titik *P*)
5. Satu jarak dan sebuah simpangan tegaklurus.
6. Perpotongan garis hubung patok-patok berhadapan.
7. Dua sudut di titik yang ditetapkan lokasinya.

Metode 3 adalah yang paling sering dipakai, tetapi seorang pemimpin regu yang berpengalaman memakai metode manapun yang sesuai dengan keadaan yang dijumpai, mempertimbangkan baik persyaratan lapangan maupun persyaratan kantor (hitungan dan peta).



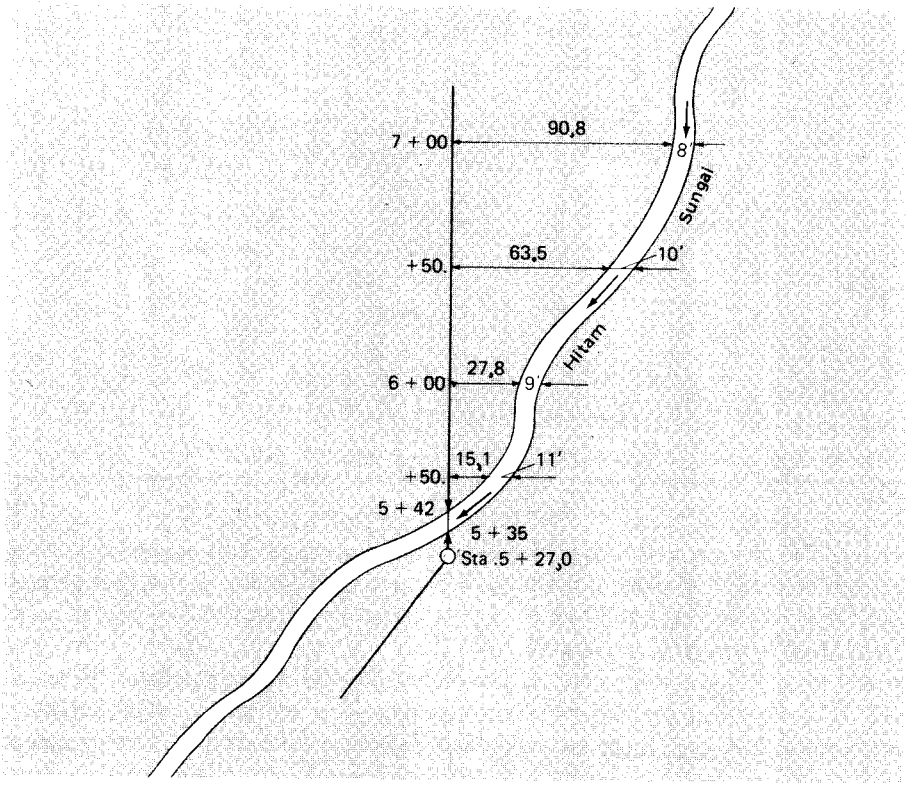
Gambar 16-2. Lokasi detail-detail.

16-5. LOKASI GARIS. Kebanyakan obyek ditentukan lokasinya dengan menganggap mereka terdiri dari garis-garis lurus, sedangkan masing-masing garis ditentukan oleh dua titik. Garis-garis tak beraturan atau melengkung dapat dianggap lurus antara titik-titik yang cukup dekat satu sama lain; jadi pengukuran detail menjadi suatu proses penentuan lokasi titik-titik. Dua contoh akan menggambarkan pengukuran-pengukuran yang dilaksanakan untuk menentukan lokasi garis-garis lurus dan melengkung.

Pada Gambar 16-2, rumah *abcdea* akan diikatkan pada garis poligon *AB*. Bentuk bangunan hanya memerlukan penentuan dua titik sudut utama, misalnya *a* dan *e*. Titik sudut *a* dapat ditentukan lokasinya dengan salah satu dari lima cara pertama Gambar 16-1, tetapi sebuah sudut dan jarak dipakai seperti diperlihatkan. Bila mungkin, merupakan praktek yang baik bila ditambahkan titik sudut ketiga, untuk pengecekan. Semua sisi rumah diukur dengan pita dan panjangnya dicatat pada sketsanya. Jika hanya tersedia sebuah pita, lokasi kandang dengan pengukuran-pengukuran dari rumah itu sudah cukup baik, tetapi menentukan dua sudut dan jarak dari patok-patok poligon memberikan hasil yang lebih cepat dan mandiri. Stasiun-stasiun yang diproyeksikan pada poligon garis-pusat dari rumah kedua, *q*, *r*, *s* dan *t*, adalah praktis dalam pengukuran jalur lintas, tetapi lagi, sudut-sudut dan jarak-jarak adalah pilihan yang kuat.

Jika transit atau teodolit dipakai untuk mengukur sudut, jarak ke *a* dan *e* dapat diperoleh dengan memakai pita atau optis. Bila gabungan teodolit–EDMI dipakai untuk pengukuran detail, jarak-jarak dapat diukur secara elektronis – sangat memudahkan bila jarak-jaraknya panjang. Semua pengukuran dapat ditunjukkan pada sebuah sketsa, tetapi biasanya sudut dan jarak dari titik-titik poligon ditulis dalam tabel pada halaman kiri buku lapangan untuk menghindari keruwetan gambar. Titik-titik topografik kemudian diberi tanda pengenal dengan nomor urut, bukan huruf-huruf, seperti pada Gambar D-9.

Lokasi sebuah sungai berkelok-kelok dengan menggunakan metode simpangan ditunjukkan pada Gambar 16-3. Pada selang-selang sepanjang jalur poligon, simpangan-simpangan ke tepi sungai diukur. Simpangan dapat diambil dengan selang teratur atau ber-



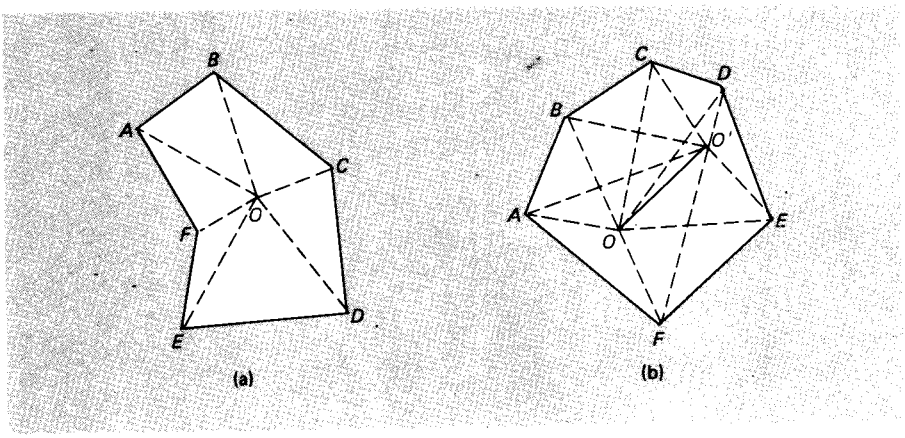
Gambar 16-3. Lokasi sungai dengan metode simpangan.

selang menurut keadaan yang dapat menghasilkan garis lurus antara dua simpangan berturutan.

16-6. LOKASI GARIS-GARIS DARI TITIK TUNGGAL. Metode titik-tunggal dapat dipakai untuk menentukan lokasi garis-garis sebuah bentuk tertutup, misalnya batas-batas sebuah lapangan. Suatu titik *O* dipilih dari mana semua pojok lapangan terlihat, seperti pada Gambar 16-4(a). Arah ke masing-masing titik sudut didapat dengan mengukur semua sudut pusat, atau dengan azimut-azimut dari titik *O*. Panjang garis-garis memancar, seperti *OA* dan *OB*, ditentukan secara optis, dengan pita, atau EDM, dan jarak keliling dihitung dengan trigonometri, karena dua sisi dan sudut di antaranya pada masing-masing segitiga diketahui. Sebagai pengecekan, koordinat masing-masing titik sudut dapat dihitung dari panjang dan arah garis-garis memancar, dan jarak-jarak *AB*, *BC* dan seterusnya, dihitung dan dibuktikan dengan pengukuran.

Sebuah penyelesaian panjang batas yang lebih ketat, diperoleh dengan metode yang disajikan pada Gambar 16-4(b). Sebuah garis *OO'* dipilih sebagai basis dan panjangnya diukur dengan cermat. Sudut-sudut diukur dari masing-masing ujung basis ke semua titik sudut, dan semua garis memancar diukur seperti dalam metode titik-tunggal. Karena prosedur ini menghasilkan pengamatan lebih, dapat dibuat perataan – misalnya dengan kuadrat terkecil.

16-7. GARIS TINGGI. Metode terbaik untuk menggambarkan perbukitan, pegunungan, lekukan, dan gelombang di permukaan tanah secara kuantitatif pada sehelai kertas dua



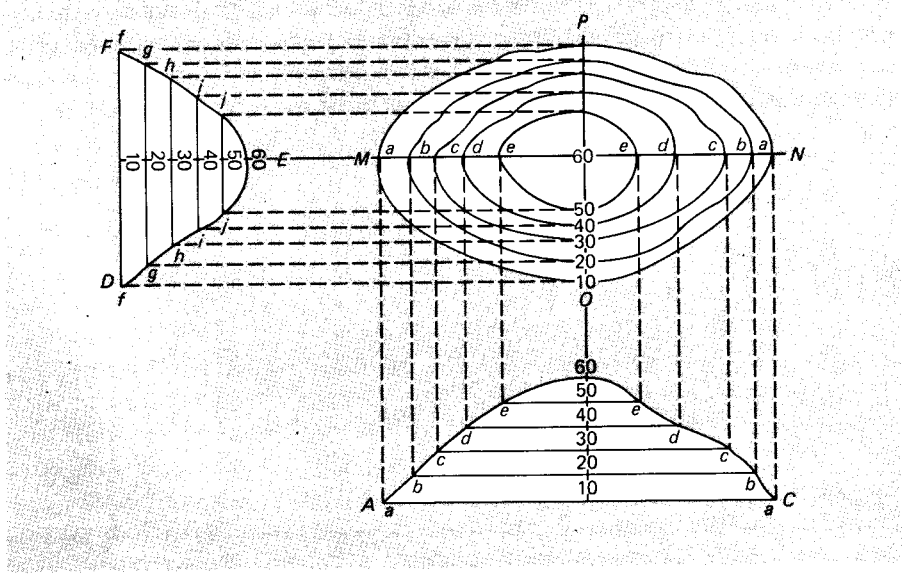
Gambar 16-4. (a) Lokasi garis dari titik tunggal. (b) Lokasi garis dari garis basis.

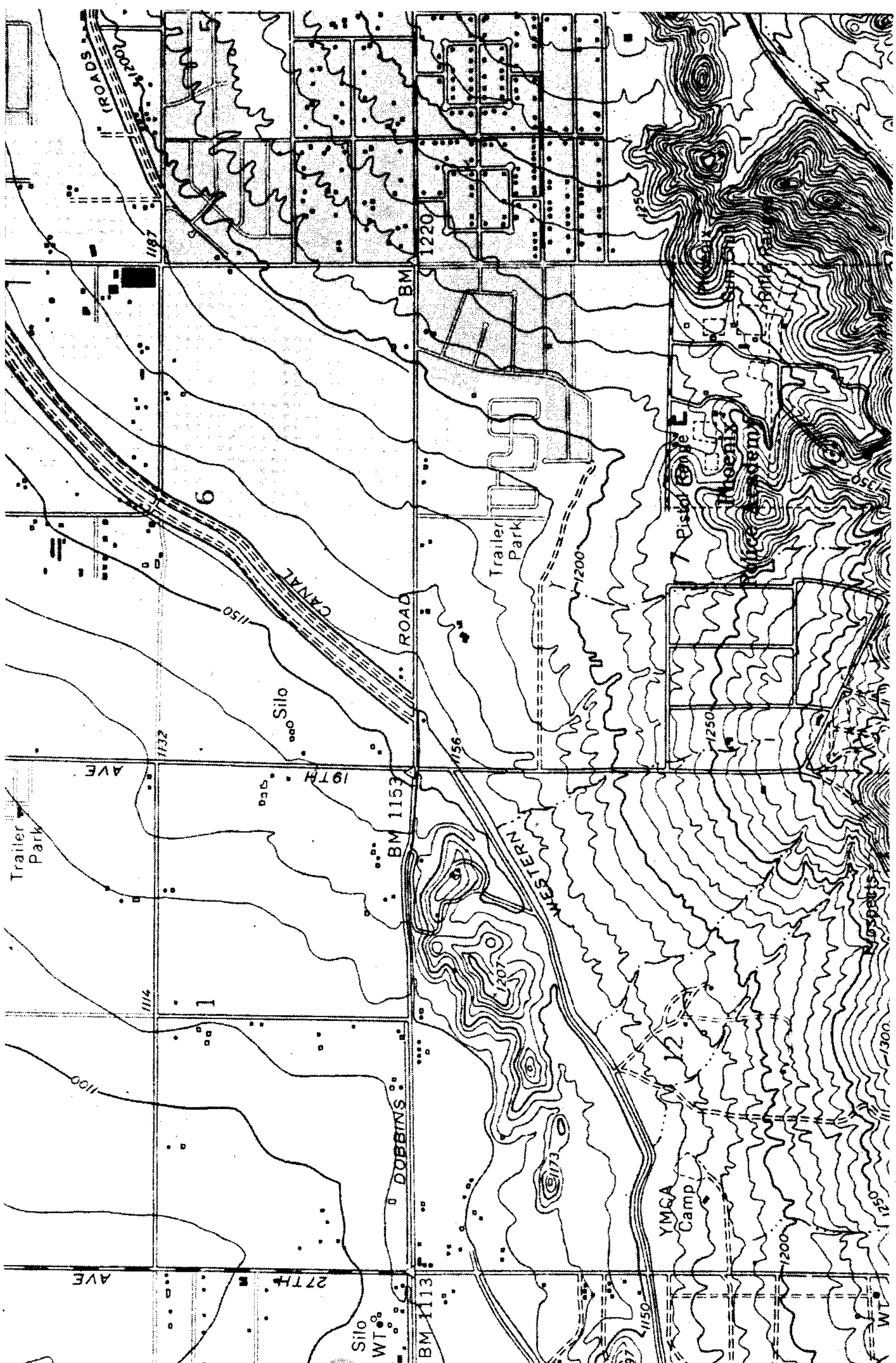
dimensi adalah dengan garis tinggi. *Sebuah garis tinggi adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan elevasi sama.* Garis tinggi dapat berbentuk kelihatan misalnya garis pantai sebuah danau, tetapi biasanya di tanah, hanya elevasi beberapa titik ditentukan lokasinya dan garis tinggi ditarik antara titik-titik kontrol ini.

Garis tinggi ditunjukkan pada peta sebagai bekas-bekas bidang mendatar dengan elevasi berbeda (Gambar 16-5). Jadi bidang-bidang mendatar yang memotong sebuah kerucut vertikal membentuk garis-garis tinggi melingkar dan memotong kerucut miring untuk menghasilkan garis tinggi elliptis. Pada permukaan yang miring seragam, misalnya pada galian jalan raya, garis tingginya garis-garis lurus.

Kebanyakan garis tinggi berbentuk garis tak beraturan seperti jalur lingkar tertutup untuk bukit pada Gambar 16-5. Jarak vertikal antara bidang-bidang mendatar yang mem-

Gambar 16-5. Garis-garis tinggi.





Gambar 16-6. Bagian dari peta segiempat Lone Butte dari U.S.G.S. (Atas kebaikan U.S. Geological Survey.)

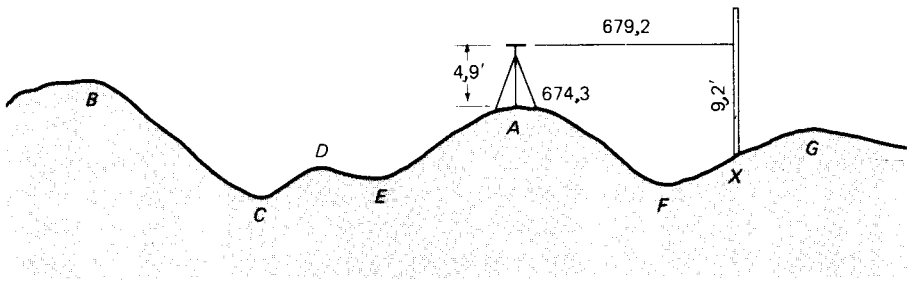
bentuk garis tinggi disebut *interval garis tinggi.* Untuk segiempat topografik dengan skala 1 : 24,000, Geological Survey Amerika Serikat memakai salah satu interval garis tinggi berikut ini: 5, 10, 20, 40, atau 80 ft. Kadang-kadang satuan-satuan foot untuk interval garis tinggi diganti dengan meter.

Interval garis tinggi yang dipilih tergantung pada tujuan peta, skala, dan keragaman relief dalam wilayah. Mengurangi interval memerlukan biaya dan kesaksamaan pekerjaan lapangan yang lebih tinggi. Di wilayah yang berdaerah pantai datar dan juga bergunung-gunung dalam satu peta, digambar garis tinggi tambahan pada pertengahan atau perempatan interval dasar (dengan garis-garis putus).

Gambar 16-6 adalah peta garis tinggi dengan interval 10 ft. *Elevasi titik* diberikan untuk titik kritis seperti puncak, lekukan, kali, dan persimpangan jalan raya. Sebaiknya dibuat sketsa punggung bukit, lembah dan garis-garis aliran (garis putus) sebelum menggambar garis-garis tinggi.

16-8. SIFAT-SIFAT GARIS TINGGI. Sifat-sifat tertentu garis tinggi bersifat mendasar dalam lokasi dan penggambarannya.

1. Garis-garis tinggi harus merupakan bentuk garis tertutup, baik di dalam maupun di luar peta. Garis tinggi *tidak dapat* terputus begitu saja.
2. Garis-garis tinggi tegaklurus pada arah kemiringan lereng maksimum.
3. Lereng antara garis-garis tinggi dianggap seragam. Jika tidak, semua perubahan kemiringan tanah harus ditentukan lokasinya dalam pemetaan topografik.
4. Jarak antara garis-garis tinggi menunjukkan kecuraman sebuah lereng. Garis-garis tinggi yang terpisah jauh menunjukkan lereng yang landai; garis-garis yang rapat, lerengnya curam; garis-garis sejajar berjarak sama menunjukkan adanya lereng seragam.
5. Garis-garis tinggi tak beraturan menggambarkan daerah yang berbukit-bukit tidak rata. Garis-garis halus menunjukkan lereng yang berangsur-angsur perubahannya.
6. Garis-garis tinggi yang tertutup dan sepusat dengan elevasi meningkat menggambarkan bukit. Garis tinggi yang membentuk jalur lingkar tanah yang lebih rendah disebut *garis tinggi depresi.* Garis-garis arsiran pada garis tinggi terbawah dan menghadap ke dasar lubang atau lekukan tanpa jalan alir ke luar, membuat pembacaan peta lebih mudah. Elevasi garis tinggi ditunjukkan pada sisi garis menanjak bukit atau pada garisnya dengan memutus sepanjang ruang angka diperlukan untuk mencegah kekacauan, dan paling sedikit tiap garis tinggi kelima ada sebuah angka elevasi.
7. Galian dan timbunan untuk bendungan, tanggul, jalan raya, jalan baja, saluran dan sebagainya, menghasilkan garis-garis tinggi lurus atau melengkung geometris dengan antara atau tanjakan yang seragam.
8. Garis-garis tinggi elevasi berbeda tidak pernah berpotongan kecuali pada permukaan vertikal misalnya lereng tegak, karang atau jembatan alamiah. Garis-garis berpotongan pada kasus yang jarang saja, misalnya gua atau lereng yang menjorok ke depan. Keadaan yang tajam seperti mata pisau juga jarang ada dalam bentukan alamiah.
9. Garis tinggi tidak dapat bercabang atau memisah diri menjadi dua garis tinggi dengan elevasi sama.
10. Ciri-ciri pedoman untuk menempatkan garis tinggi biasanya adalah garis-garis aliran.
11. Garis tinggi memotong sungai mengarah ke hulu dan membentuk huruf-V's, garis-garis tinggi mengarah ke bawah pada punggung bukit dan membentuk huruf-U's bila memotong puncak punggung.



Gambar 16-7. Cara langsung menempatkan garis tinggi.

12. Garis-garis tinggi berpasangan bila arah mendaki lembah dan sisi punggung bukit. Garis tinggi cenderung sejajar dengan sungai.
13. Garis-garis tinggi memotong jalan yang menurun dengan permukaan lengkung, membentuk kurve berbentuk huruf-U.
14. Garis pantai sebuah danau kecil membentuk sebuah garis tinggi jika aliran masuk, aliran keluar dan pengaruh angin dapat diabaikan.

Dengan selalu memperhatikan prinsip-prinsip ini, mudah untuk membayangkan garis tingginya bila melihat suatu wilayah dan mencegah terjadinya kesalahan serius dalam pembuatan sketsa. Banyak titik mungkin diperlukan untuk menentukan lokasi garis tinggi pada jenis-jenis permukaan tanah tertentu. Misalnya dalam kasus luar biasa di mana harus ada garis tinggi pada lapangan datar, lokasi yang tepat dari sebuah garis tinggi tunggal akan makan waktu atau barangkali tidak mungkin.

16-9. CARA LANGSUNG DAN TAK LANGSUNG MENENTUKAN GARIS TINGGI. Garis tinggi dapat ditetapkan dengan *metode langsung* (*metode garis-tinggi-telusur*) atau *metode tak langsung* (*metode titik-ikat*). Dalam metode langsung, pembacaan rambu (bidikan depan) ditentukan, untuk dikurangkan dari-TI menghasilkan elevasi garis tinggi. Kemudian petugas rambu memilih titik-titik coba yang diperkirakan menghasilkan bidikan minus ini dan diperintahkan naik lereng atau turun oleh pemegang instrumen hingga pembacaan yang diperlukan benar-benar diperoleh (dalam batas 0,1 sampai 0,5 ft, selisih yang dibolehkan tergantung pada permukaan tanah dan ketelitian yang ditentukan).

Dalam Gambar 16-7 instrumen dipasang di titik *A*, elevasi 674,3 ft, t.i. 4,9 ft, dan TI 679,2 ft. Jika sedang ditentukan lokasi garis tinggi 5 ft, pembacaan 4,2 atau 9,2 dengan teropong mendatar akan menempatkan rambu pada sebuah titik garis tinggi. Sebagai contoh, pada Gambar 16-7, pembacaan rambu 9,2 ft berarti bahwa titik *X* terletak pada garis tinggi 670 ft. Setelah titik ini ditentukan letaknya dengan coba-coba, jarak dan azimut dibaca dan proses diulang. Pekerjaan dipercepat dengan memakai secarik kain merah sekitar lebar 0,2 ft, yang dapat digerakkan ke atas dan ke bawah pada rambu takimetri untuk menandai pembacaan yang diperlukan dan tidak perlu mencari sebuah angka.

Jarak maksimum antara titik-titik garis tinggi ditentukan oleh keadaan permukaan tanah dan ketelitian yang ditentukan. Kecenderungan para pemula adalah mengambil bidikan lebih banyak daripada yang diperlukan pada permukaan tanah biasa. Garis-garis tinggi dibuat sketsanya antara titik-titik yang ditentukan lokasinya sebagai bagian pekerjaan ruang gambar, tetapi dapat pula digambar dalam buku lapangan untuk menjelaskan keadaan-keadaan luar biasa.

Kecuali bila rambu dapat dibaca memakai transit atau teodolit sebagai alat sipat datar, metode-langsung untuk menetapkan lokasi garis tinggi adalah tidak praktis. Terlalu banyak

waktu terbuang mengatur gabungan sudut vertikal dan jarak optis untuk memperoleh selisih elevasi yang diperlukan. Tetapi takimeter swa-reduksi atau EDMIs yang dengan otomatis dapat memisahkan jarak miring menjadi komponen horisontal dan vertikalnya, berdayaguna dalam pekerjaan ini.

Pada metode tak langsung, rambu dipasang di titik kritis di mana terjadi perubahan kemiringan tanah, misalnya, *B, C, D, E, F,* dan *G* pada Gambar 16-7. Elevasi diperoleh dengan teropong datar bilamana memungkinkan, untuk menghemat waktu reduksi catatan dan meningkatkan ketelitian. Titik-titik dipilih secara acak atau sepanjang garis azimut yang bersangkutan. Petugas rambu bergerak searah jarum jam untuk memudahkan pembuatan catatan dan penggambaran. Garis tinggi didapat dengan interpolasi antara titik-titik tinggi dan rendah yang elevasinya diketemukan.

Metode langsung menguntungkan di wilayah yang berlereng landai; metode tak langsung lebih baik di permukaan tanah yang bergelombang dan berbukit-bukit.

Sistem lain, sebuah *kisi radial,* dapat dipasang bersama sebuah instrumen stasiun-kotah untuk menentukan lokasi garis tinggi dengan teliti memakai metode tak langsung di tanah bergelombang. Garis-garis radial pada interval 20° (atau lain) diproyeksikan dari patok poligon sejauh yang dikehendaki, dipancang jarak-jarak 50 atau 100 ft, dan elevasi ditentukan. Pembacaan pelengkap juga dapat dibuat pada titik-titik garis radial yang dipilih secara acak. Metode langsung menentukan lokasi garis tinggi dapat dipakai dengan cara serupa.

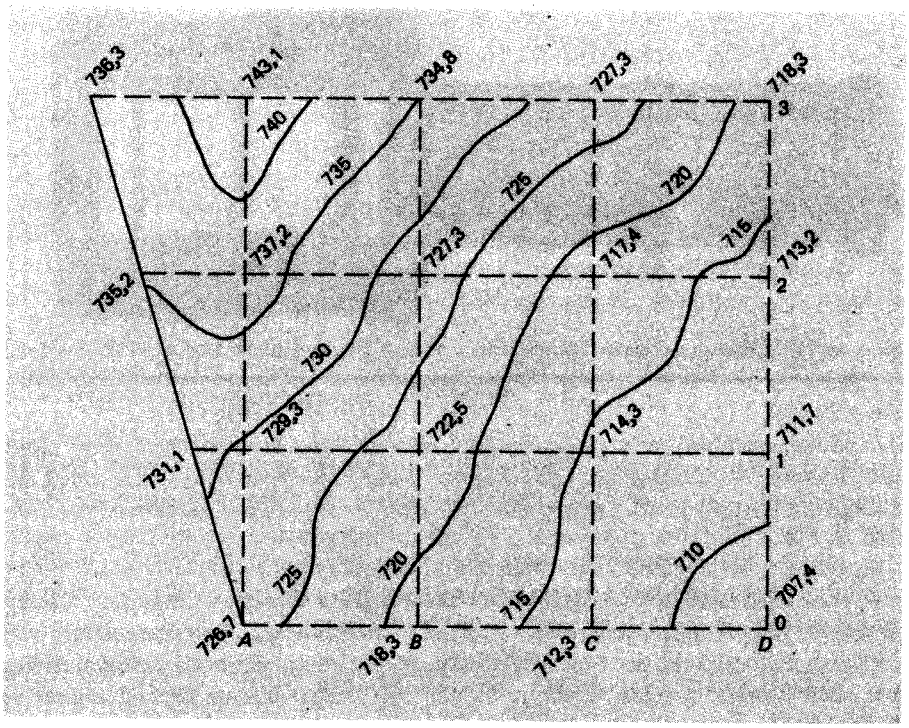
Jika sebuah bukit atau punggung bukit di dekat situ dapat dipakai melihat sebagian besar atau seluruh wilayah yang diukur, sebuah cabang poligon dapat dibuat di atasnya untuk memperoleh garis-garis radial lebih banyak dan lebih panjang. Garis-garis radial yang berpotongan dari patok-patok poligon yang berdekatan, menjamin menyeluruhnya liputan dan memberikan pengecekan pada lokasi-lokasi garis tinggi.

16-10. METODE-METODE LAPANGAN DALAM MEMPEROLEH TOPOGRAFI. Lokasi detail-detail topografik biasanya diperoleh dengan salah satu dari metode-metode berikut ini: (a) radiasi, (b) takimetri, (c) planset, (d) kisi (bujursangkar) koordinat, atau (e) simpangan dari garis sumbu (penampang atau pengukuran profil). Sebuah penjelasan singkat tentang pemakaian, keuntungan dan kerugian masing-masing sistem akan diberikan.

16-10.1. METODE RADIASI. Dalam metode radiasi, stasiun-stasiun poligon diduduki transit atau teodolit, dan sudut-sudut ke titik-titik garis-tinggi dan ciri-ciri lainnya, diukur. Jarak diperoleh dengan pita atau EDM. Setelah pojok-pojok gedung, jembatan dan detail-detail lain telah diketahui lokasinya, panjang, lebar dan proyeksinya diukur dengan pita dan dibuat sketsanya di buku lapangan. Prosedur radiasi adalah teliti dan berhasil guna bila dipakai gabungan teodolit–EDMI (instrumen stasiun-kotah) dengan kemampuan swa-reduksi. Tetapi bila jarak harus diukur dengan pita, dapat menjadi terlalu lambat dan mahal untuk pekerjaan biasa.

16-10.2. METODE TAKIMETRI. Metode takimetri mirip dengan proses radiasi, kecuali bahwa jarak-jarak diperoleh secara optis. Prosedur ini cepat dan cukup teliti untuk kebayakan pengukuran topografik. Jarak-jarak optis, azimut dan sudut vertikal dibaca untuk garis-garis terpancar dari transit, teodolit atau planset ke titik-titik yang diperlukan. Gambar D-9 menunjukkan contoh catatan untuk pengukuran transit-optis.

16-10.3 METODE PLANSET. Dalam metode ini sebuah alidade dibidikkan pada sebuah rambu yang dipegang di titik yang akan ditentukan lokasinya, dibaca jarak optis dan sudut vertikal (atau busur Beaman). Arah garis digambar dengan penggaris alidade, se-



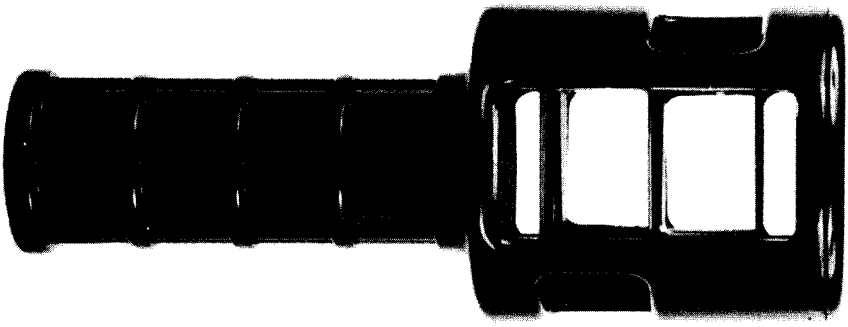
Gambar 16-8. Bujursangkar koordinat.

hingga tidak perlu mengukur atau mencatat sudut-sudut horisontal. Jika mungkin, sudut vertikal juga dihindari dengan jalan memakai alidade sebagai alat sipat datar.

Pemegang instrumen membuat sketsa garis-garis tinggi dengan metode langsung atau tak langsung sambil melihat wilayahnya. Karena peta digambar di lapangan, liputan dapat dicek dengan pengamatan. Penggunaan planset dibicarakan dalam Bab 18 dengan lebih terinci.

16-10.4. METODE BUJURSANGKAR KOORDINAT. Metode bujursangkar koordinat (metode kisi) lebih baik dipakai untuk menentukan lokasi garis tinggi daripada ciri-ciri budaya, tetapi dapat dipakai untuk kedua-duanya. Wilayah yang diukur dipatoki membentuk bujur-bujur sangkar bersisi 10, 20, 50, atau 100 ft (5, 10, 20, atau 40 m), ukurannya tergantung permukaan tanah dan ketelitian yang diperlukan. Transit atau teodolit dapat dipakai untuk memasang garis-garis tegak lurus satu sama lain, seperti *AD* dan *D*3 pada Gambar 16-8. Panjang kisi ditandai dan sudut-sudut lain dipatoki dari perpotongan garis-garis yang diukur pita. Titik-titik pojok dikenal dengan nomor dan huruf garis-garis berpotongan. Jika tidak ada transit, semua pekerjaan pemasangan dapat dilakukan dengan pita ukur.

Untuk memperoleh elevasi titik-titik sudut, sebuah alat sipat datar ditempatkan di tengah-tengah bidang, atau pada kedudukan dari mana dapat diambil bidikan ke masing-masing titik. Garis tinggi diinterpolasi antara elevasi-elevasi titik sudut (sepanjang sisi-sisi blok) dengan taksiran atau jarak sebanding yang dihitung. Kecuali untuk menggambar garis-garis tinggi, ini adalah prosedur yang sama dengan yang dipakai dalam masalah lubang galian-sumbang (borrow-pit problem) dalam Paragraf 27-10.



Gambar 16-9. Prisma pentagonal ganda (dari samping). (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.)

Dalam menggambar garis tinggi dengan metode kisi, *elevasi-elevasi yang diperoleh dengan interpolasi sepanjang diagonal-diagonal pada umumnya tidak akan cocok dengan garis tinggi dari interpolasi sepanjang keempat sisinya karena permukaan tanahnya meliuk.*

16-10.5. SIMPANGAN DARI GARIS SUMBU. Setelah sumbu lintas jalur ditetapkan, dilaksanakan pengukuran profil untuk memperoleh elevasi pada stasiun-stasiun berjarak tertentu dan titik-titik kritis. Detail-detail seperti pagar dan gedung ditentukan lokasinya dengan simpangan-simpangan tegaklurus. Sudut 90° dapat diukur dengan *prisma pentagonal* dari jenis yang terlihat pada Gambar 16-9, atau ditaksir dengan berdiri pada garis sumbu, mengacungkan lengan-lengan pada arah berlawanan sepanjang garis, kemudian mempertemukan telapak-telapak tangan bersama di muka badan (mata harus tertutup untuk mencegah pengarahan tak sengaja pada obyek yang menonjol dekat garis tegaklurus).

Pengukuran tampang melintang adalah pembuatan irisan vertikal pada permukaan tanah tegaklurus garis sumbu lintas jalur. Dengan kata lain ini berarti pengukuran profil melintang sumbu jalur. Pembacaan rambu diambil pada semua perubahan permukaan tanah dan dicatat berdasarkan jarak-jarak yang bersangkutan. Gambar D-10 adalah contoh serangkaian catatan tampang melintang.

Data tampang melintang dapat dipakai untuk menyusun garis-garis tinggi, tetapi lebih umum merupakan dasar untuk membuat hitungan volume pekerjaan tanah. Dalam penerapan ini, jarak dari sumbu dan elevasi-elevasi digambar di atas kertas khusus yang paling biasa digarisi menjadi 1-in persegi dibagi secara desimal oleh garis-garis lebih tipis terpisah 0,1-in vertikal dan horisontal. Catatan tampang melintang – bila digambar bersama dengan papan penggambar pola rancangan (lebar dasar dan lereng-lereng samping) untuk jalan raya atau saluran yang direncanakan – menghasilkan garis besar luas galian dan timbunan, yang diukur atau dihitung dengan mudah. Kuantitas penggalian dapat dihitung dari luas tampang melintang dan jarak terpisahnya seperti dibicarakan dalam Bab 27.

Dalam tahun-tahun terakhir ini, komputer elektronik umumnya telah menggantikan pekerjaan menggambar tampang lintang dengan tangan dan hitungan luas dengan planimeter. Dalam hal ini catatan lapangan tampang melintang dan harga-harga gambar pola rancangan dibaca ke dalam sebuah komputer, bersama dengan program yang sesuai untuk menghitung dan menuliskan luas galian dan timbunan, juga volume-volume penggalian dan timbunan. Tampang melintang yang ditumpangi gambar pola rancangan dapat digambar secara otomatis oleh alat tambahan komputer elektronik yang cepat bekerjanya.

Pada beberapa pengukuran, titik-titik garis tinggi dengan langsung ditetapkan lokasinya bersama dengan perubahan-perubahan penting yang ada pada lereng tanah. Misalnya,

jika garis tinggi 5-ft sedang ditarik, maka serangkaian catatan di halaman kanan buku lapangan biasa berbentuk sebagai berikut:

Kiri				Garis Sumbu	Kanan			
85/63	80/45	75/28	70/9	72.4/0	75/12	80/27	85/38	90/56

Angka-angka di atas garis menyatakan elevasi garis tinggi; angka-angka di bawah garis adalah jarak dari garis sumbu.

Titik-titik garis tinggi dapat digambar pada kertas tampang melintang untuk mendapatkan hasil yang sama dengan serangkaian catatan tampang melintang, atau garis-garis tinggi dapat digambar pada kenampakan datar dari jalan raya yang direncanakan.

Pembacaan-pembacaan dapat diambil dengan alat sipat datar, transit, teodolit, atau dalam beberapa kasus, dengan alat sipat datar tangan.

16-10-6. GARIS TINGGI (CONTOURS) DENGAN ALAT SIPAT DATAR TANGAN. Alat sipat datar tangan dapat dipakai untuk menetapkan garis tinggi bila tak diperlukan kesaksamaan tingkat tinggi. Dalam prosedur ini, TI pengamat (setinggi mata di atas datum) mula-mula ditentukan dengan mengambil bidikan plus (atau berdiri) pada sebuah titik yang diketahui elevasinya, seperti dalam sipat datar memanjang. Dalam pendakian, titik di mana garis bidik datar menembus tanah akan sama elevasinya dengan TI pengamat. Setelah memberi tanda pengenal titik ini di tanah, pengamat pindah ke situ dan mendudukinya untuk menghitung sebuah TI baru.

Dalam sipat datar turun bukit, pengamat menemukan dengan coba-coba, lokasi yang diperlukan untuk membuat bidikan belakang sipat datar jatuh di tanah di tempat yang diduduki sebelumnya. Elevasi titik-coba kemudian didapatkan dengan mengurangkan t.i. untuk pengamat (tinggi mata di atas tanah), dan proses diulang. Dalam menentukan lokasi garis tinggi 5-ft, untuk memepercepat pekerjaan dipakai t.i. tepat 5-ft dengan bantuan rambu atau batang bercabang. Ini juga menyederhanakan hitungan. Kedudukan horisontal titik-titik garis tinggi yang ditentukan lokasinya tadi harus ditetapkan dengan salah satu metode yang dibicarakan dalam paragraf-paragraf sebelumnya.

16-11. PEMILIHAN METODE LAPANGAN. Pemilihan metode lapangan untuk dipakai pada suatu pengukuran topografik tergantung pada banyak pertimbangan, termasuk (1) tujuan pengukuran, (2) pemakaian peta (ketelitian yang diperlukan), (30 skala peta, (4) interval garis tinggi, (5) ukuran dan jenis wilayah yang bersangkutan, (6) biaya, (7) peralatan dan waktu yang tersedia, dan (8) pengalaman petugas-petugas pengukuran.

Butir 1 sampai dengan 5 adalah saling tergantung satu sama lain. Biaya tentu saja akan minimum jika dipilih metode yang paling sesuai untuk sebuah proyek. Pada pekerjaan besar, biaya petugas akan lebih menentukan daripada investasi peralatan (kecuali barangkali dalam perusahaan fotogrametri). Tetapi metode yang dipilih oleh seorang juru-ukur yang melaksanakan pengukuran pada luas 50 atau 100 acre, dapat ditentukan oleh peralatan yang dimiliki.

Latihan khusus diperlukan bagi juru ukur kebanyakan agar dapat mengerjakan pekerjaan fotogrametrik. Demikian pula halnya, nisbi hanya sedikit orang yang punya pengalaman cukup untuk bekerja dengan planset sehingga berdayaguna.

16-12. SPESIFIKASI PENGUKURAN TOPOGRAFIK. Spesifikasi pembakuan ketelitian peta nasional untuk galat maksimum yang dibolehkan dalam kedudukan horisontal dan elevasi yang ditunjukkan dalam peta adalah sebagai berikut.

Ketelitian Horisontal. Untuk peta-peta dengan skala lebih besar daripada 1 : 20,000, tak boleh lebih dari 10% titik-titik yang diuji mempunyai galat lebih dari $\frac{1}{30}$ in (0,8 mm). Pada peta-peta dengan skala lebih kecil, batas galat adalah $\frac{1}{50}$ in (0,5 mm), atau kira-kira 40 ft di tanah pada peta dengan skala 1 : 24,000. Batas-batas ketelitian ini berlaku dalam semua kasus untuk kedudukan titik-titik yang jelas saja misalnya tugu, titik tetap duga, simpangan jalan raya, dan pojok gedung yan dapat digambar sampai 0,1 in pada skala peta.

Dengan pandangan biasa, jarak dapat digambar dalam batas $\frac{1}{50}$ atau $\frac{1}{100}$ in (atau 0,5 sampai 0,25 mm). Persyaratan ketelitian lapangan yang lebih besar untuk topografi dapat ditetapkan untuk menyesuaikan dengan itu.

Ketelitian Vertikal. Tak lebih dari 10% elevasi-elevasi yang diuji mempunyai galat lebih dari setengah interval garis tinggi. Peta-peta terbitan yang memenuhi syarat-syarat ketelitian ini biasanya ditulisi dalam legendanya; "Peta ini memenuhi persyaratan Pembakuan Ketelitian Peta Nasional."

Ketelitian suatu peta dapat diuji dengan perbandingan kedudukan titik-titik yang lokasi atau elevasinya ditunjukkan di situ dengan kedudukan titik-titik tersebut yang ditentukan oleh pengukuran dengan ketelitian lebih tinggi. Kedudukan horisontal tergambar dari obyek-obyek dicek dengan pengukuran poligon, triangulasi, atau trilaterasi yang mandiri ke titik-titik yang dipilih oleh orang atau instansi pemberi pekerjaan pengukuran. Sebuah pengukuran profil dari sembarang titik ke sembarang arah dibandingkan dengan profil yang dibuat dari garis-garis tinggi tergambar; jadi baik pekerjaan lapangan maupun penggambaran petanya sekaligus dicek.

16-13. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM PENGUKURAN TOPOGRAFIK. Beberapa sumber galat dalam pengukuran topografik adalah:

1. Galat-galat instrumental, khususnya garis bidik yang tak teratur dalam pekerjaan takimetri.
2. Galat-galat dalam pembacaan instrumen.
3. Tidak ditetapkannya, dicek dan diratakannya titik kontrol sebelum pengambilan topografi.
4. Titik-titik kontrol yang terlalu jauh terpisah dan pemilihannya yang buruk untuk liputan yang baik pada suatu wilayah.
6. Pemilihan titik-titik yang tidak baik untuk penarikan garis-garis tinggi.

16-14. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan yang umum dalam pengukuran topografik adalah:

1. Peralatan yang tidak baik atau metode yang tidak cocok di lapangan untuk pengukuran tertentu dan keadaan tanah yang ada.
2. Kesalahan dalam pembacaan instrumen.
3. Kelalaian mengecek orientasi azimut bila banyak titik detail ditentukan lokasinya dari sebuah stasiun instrumen.
4. Terlalu sedikit (atau terlalu banyak) titik garis tinggi yang diambil.
5. Hilangnya beberapa detail topografik.

SOAL-SOAL

16-1. Tulislah lima detail topografik yang tergolong ciri-ciri "budaya" yang belum tersebut dalam Paragraf 16-1.

16-2. Apakah kebaikan-kebaikan sebuah telaga sebagai titik balik atau titik tetap duga?

16-3. Uraikan metode-metode terbaik untuk menentukan elevasi permukaan air danau yang terganggu angin kecil dan gelombang kecil?

16-4. Buatlah sketsa yang baik pemakaian masing-masing dari tujuh metode lapangan untuk penentuan lokasi titik.

16-5. Siapkan serangkaian catatan lapangan untuk menentukan lokasi detail-detail topografik pada Gambar 16-2. Jarak-jarak agar diskala dan sudut ditentukan.

16-6. Berilah contoh dan buatlah sketsa keadaan lapangan di mana cara terbaik menentukan garis tinggi adalah dengan (a) metode kisi, (b) metode langsung (c) metode tak langsung.

16-7. Apakah tujuan pembuatan peta topografik untuk bagian baru sebuah kota? Sebuah taman kota? Untuk letak kawasan industri?

16-8. Terangkan bagaimana peta pada Gambar 16-6 dapat diuji ketelitiannya dengan memakai sebuah sketsa-tindih?

16-9. Sebuah peta garis tinggi mempunyai interval 2 ft dan skala 1 : 1200. Jika dua garis tinggi berdekatan terpisah 80 ft, berapa lereng rata-rata tanah antara kedua garis tinggi?

16-10. Pada sebuah peta dengan skala 1 m = 500 ft, berapa jauh terpisah garis-garis tinggi 1-ft pada lereng seragam 4%?

16-11. Pada sebuah peta yang digambar dengan skala 1 in = 200 ft, garis-garis tinggi di tempat tertentu terpisah sejauh $\frac{3}{8}$ in. Interval garis tinggi adalah 5 ft. Berapa persen kemiringan tanah antara dua garis tinggi berturutan?

16-12. Sama dengan Soal 16-11 kecuali untuk interval 2-m, terpisah 30 mm dan skala peta 1 cm = 50 m.

16-13. Tuliskan dan berilah contoh faktor-faktor bersangkutan yang dipertimbangkan dalam pemilihan skala yang cocok untuk proyek pemetaan topografik dengan transit dan jarak optis.

16-14. Buatlah sketsa sebuah garis tinggi yang memotong jalan slebear 40-ft dengan tanjakan +5,00%, muka-jalan parabolik 8-in dan kaki lima setinggi 4-in.

16-15. Sama dengan Soal 16-14 kecuali sebuah jalan raya terbagi atas 4-jalur, lebar 80-ft termasuk jalur tengah 20-ft, pada tanjakan +3,00%, 1,00% lereng samping, dan bahu-jalan selebar 4-ft dengan kemiringan minimum.

16-16. Untuk interval garis tinggi 25-ft, berapa galat terbesar yang diharapkan pada elevasi suatu titik dibaca dari sebuah peta bila memenuhi persyaratan Pembakuan Ketelitian Peta Nasional?

16-17. Kapan titik-titik yang ditentukan lokasinya untuk garis tinggi harus dihubungkan dengan garis lurus? Kapan dengan kurve halus?

Berikut ini adalah elevasi-elevasi pada pojok-pojok bujursangkar koordinat 50-ft dan berlaku untuk Soal 16-18 sampai dengan 16-21.

57	56	57	56	60	64
60	53	58	61	63	66
58	59	56	58	59	67

16-18. Sekitar angka manakah dalam tabel dapat ditarik garis tinggi tertutup 5-ft?

16-19. Gambarlah garis-garis tinggi 5-ft untuk wilayah itu. Bandingkan elevasi-elevasi pada lokasi beberapa titik pusat bujursangkar dengan interpolasi pada diagonal-diagonal.

16-20. Sama dengan Soal 16-19, kecuali tambahkan baris elevasi keempat: 55, 51, 56, 60, 68, dan 71 (dari kiri ke kanan).

16-21. Sama dengan Soal 16-20, kecuali tambahkan baris elevasi kelima: 52, 54, 58, 61, 69, dan 70.

16-22. Berilah sebuah sifat garis tinggi lagi yang belum disebut dalam Paragraf 16-8.

16-23. Menurut pendapat Anda, manakah yang paling penting di antara 14 sifat garis tinggi yang tersebut dalam Paragraf 16-8? Mengapa?

16-24. Bagaimana "garis-garis bentuk" dipakai pada beberapa peta atau peta ikhtisar sebagai ganti garis-garis tinggi?

16-25. Pada jenis-jenis pengukuran mana alat sipat datar tangan sesuai untuk menentukan lokasi garis tinggi?

16-26. Mengapa metode simpangan dari sumbu dipakai lebih banyak daripada sistem terestris lainnya untuk penentuan lokasi titik pada pengukuran lintas jalur?

16-27. Apakah metode menentukan letak garis tinggi langsung itu lebih cepat daripada metode tak langsung untuk tanah biasa? Lebih teliti? Terangkan.

16-28. Sebuah kota mempunyai banyak detail yang ditentukan lokasinya dengan transit jarak-optis. Terangkan metode terbaik untuk membuat catatan dan penggambaran lebih mudah.

16-29. Apakah seseorang yang melaksanakan pengukuran topografik untuk pertamanan sebuah tanah milik, memakai garis batas pemilikan sebagai kontrolnya, disyaratkan harus seorang Juru-Ukur Terdaftar di negara bagian Anda?

DAFTAR PUSTAKA

Brown, R.L. 1980. "Usulan Buku Pedoman Pemilihan Penggunaan, Skala, dan Ketelitian Peta untuk Tujuan-tujuan Rekayasa dan yang Berkaitan: Ketersediaan Peta – Bab VI." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 106(no. SU1): 149.

Crombie, B.W. 1977. "Rancangan Garis Tinggi dan Pemakai Peta Topografik." *Canadian Surveyor* 31:34.

Eliel, L.T., et al. 1952. "Pemilihan Interval Garis Tinggi." *Surveying and Mapping* 12(no. 4): 344.

Feldscher, C.B. 1980. "Buku Pedoman Baru tentang Pemakaian, Skala dan Ketelitian Peta." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 106(no. SU1): 143.

Hotine, M. 1975. "Pengukuran Topografik secara Cepat di Negara-negara Baru." *Surveying and Mapping* 25(no. 4): 557.

Keates, J.S. 1961. "Teknik Penyajian Relief." *Surveying and Maping* 21(no. 4): 459.

Lee, M.P. 1981. "Lereng Terotomasi – sebuah Teknik Baru." *ACSM Bulletin* 74:43.

Lyddan, R.H. 1954. "Berapa Banyak Detail Topografik?" *Surveying and Mapping* 14(no. 1): 29.

Thompson, M.M., dan G.H. Rosenfeld. 1971. "Tentang Spesifikasi-spesifikasi Ketelitian Peta." *Surveying and Mapping* 31(no. 1): 57.

Wolf, P.R., B. Wilder, dan G. Mahun. 1978. "Sebuah Evaluasi Ketelitian dan Penerapan Takimetri." *Surveying and Mapping* 38(no. 3): 231.

17 PEMETAAN

17-1. PENGANTAR. Sepanjang zaman, peta telah mempunyai dampak yang mendalam pada kegiatan manusia, dan dewasa ini tuntutan akan peta barangkali lebih besar dari sebelumnya. Peta-peta sangat penting dalam rekayasa, pengelolaan sumber daya, perencanaan kota dan regional, pengelolaan lingkungan hidup, konstruksi, pelestarian, geologi, pertanian, dan banyak bidang lainnya. Peta-peta memperlihatkan beraneka-ragam ciri – misalnya topografi, batas-batas hak milik, jalur lintas transportasi, jenis-jenis tanah, tumbuh-tumbuhan, pemilikan tanah untuk tujuan-tujuan pajak, dan lokasi mineral serta sumber daya. Peta-peta khususnya penting dalam rekayasa untuk perencanaan lokasi proyek, fasilitas perancangan, dan taksiran kuantitas-kuantitas borongan.

Dinas militer selalu mengandalkan pada terbitan peta dan peta ikhtisar mutakhir secara tetap. Selama Perang Dunia Kedua, Army Map Service, sekarang namanya Topographic Center, Defense Mapping Agency (DMA), menyiapkan lebih dari 40.000 peta segala jenis meliputi kira-kira 400.000 mil persegi permukaan bumi; dan dicetak sebanyak 500 juta lembar. Penyerbuan Normandy saja memerlukan 70 juta lembar peta dari 3000 peta berbeda. Dalam empat minggu pertama perang Korea, Army Map Service dan Komando Timur Jauh mencetak dan membagikan 10 juta lembar peta – lebih dari seluruh peta yang dicetak untuk Perang Dunia Kesatu. Karena ukuran dan tebaran kekuatan militer di Vietnam, Army Map Service mengeluarkan peta kira-kira 500 juta lembar untuk mendukung perang itu. Liputan seluruh negara dibuat dalam peta-peta berskala 1 : 50.000, dan kebanyakan juga dibuat dengan skala 1 : 25.000. Banyak produk khusus untuk operasi militer di sungai dan peta-peta foto dipersiapkan.

17-2. BADAN-BADAN PEMETAAN. Peta-peta dibuat oleh para juru-ukur swasta, industri, kota, county, negara bagian, dan beberapa badan pemerintah federal. Sayang, banyak kegiatan pemetaan yang belum terkoordinasi; karenanya terjadi beberapa kerangkapan upaya, dan adanya banyak informasi berharga yang tak diketahui sehingga tak tersedia bagi calon pemakai. Telah dimulai usaha awal untuk memperbaiki keadaan ini dengan mendirikan penyimpanan data di beberapa kota dan negara bagian, di mana setiap peta yang dapat diperoleh, diarsipkan untuk manfaat pihak-pihak yang memerlukan. The National Cartographic Information Center menyediakan informasi yang membantu para juru-ukur, insinyur, ahli katografi dan pemakai peta teknis lainnya, maupun rakyat umum.[1] Kantor ini merupakan pusat sumber informasi tentang pengukuran dan peta, menyediakan data luas tentang peta topografik, pemotretan udara, pengukuran titik kontrol geodetik, ditambah fakta-fakta dasar untuk program-program rekayasa dan konstruksi, seperti proyek irigasi, lokasi jalan raya dan jalan baja, pengembangan kota dan pedesaan, jalur-jalur transmisi dan pipa, lapangan terbang, dan lokasi fasilitas radio dan televisi.

The Geological Survey mulai menerbitkan peta-peta topografik pada tahun 1886 sebagai bantuan pada studi-studi ilmiah. Lembaran baku meliputi kotak-kotak bujursangkar $7\frac{1}{2}$ atau 15 menit dan memperlihatkan ciri-ciri budaya dengan warna hitam, garis tinggi coklat, ciri air biru, wilayah perkotaan merah, dan wilayah hutan hijau. Sebuah peta indeks memberikan tahana pemetaan topografik di Amerika Serikat dan wilayah yang dikuasainya tersedia cuma-cuma dari Geological Survey. Peta-peta indeks lain yang menunjukkan tahana pemotretan udara dan mosaik foto udara di Amerika Serikat diterbitkan oleh badan ini pula.

Geological Survey sedang bergerak ke arah metrikasi dengan mempertimbangkan keperluan para pemakai peta. Unsur-unsur peta yang ditunjukkan dalam sistem metrik adalah kisi koordinat Universal Transverse Mercator (UTM), garis tinggi, elevasi, jarak, garis tinggi kedalaman air dan pemeruman. Ada tujuh macam skala peta yang dipakai. Interval dasar garis tinggi untuk itu adalah 1, 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 m. Elevasi diberikan dalam meter; jarak dalam kilometer. Untuk rencana letak skala besar, disarankan interval 0,1, 0,2, atau 0,5 m. Seperti disebutkan dalam Bab 1, badan-badan lain juga menghasilkan peta untuk tujuan-tujuan berbeda.

17-3. SKALA PETA. Pemilihan skala peta tergantung pada tujuan, ukuran dan kesaksamaan yang diperlukan pada peta yang diselesaikan. Ukuran lembar baku, jenis dan banyaknya simbul topografik, dan ketelitian yang disyaratkan untuk penerapan skala jarak merupakan beberapa pertimbangan yang diperhatikan.

Skala peta diberikan dalam tiga cara: (a) dengan *perbandingan* atau *pecahan representatif,* misalnya 1 : 2000 atau $\frac{1}{2000}$; (b) dengan sebuah *persamaan,* misalnya, 1 in = 200 ft; dan (3) secara *grafis.* Dua skala grafik yang ditempatkan saling tegaklurus dan pada sudut berhadapan diagonal peta, menyebabkan dapat dibuatnya pengukuran teliti walaupun kertasnya berubah dimensi.

Skala peta biasanya digolongkan sebagai *besar, menengah,* dan *kecil.* Batas-batas skalanya berturut-turut adalah:

Skala besar, 1 in = 100 ft (1 : 1200) atau lebih besar.
Skala menengah, 1 in = 100 – 1000 ft (1 : 1200 sampai 1 : 12.000).
Skala kecil, 1 in = 1000 ft (1 : 12.000) atau lebih kecil.

Para juru-ukur dan pembuat peta dapat menyatakan semua skala peta dengan perbandingan seperti dikerjakan sekarang untuk skala-skala metrik. Skala yang umum 1 in = 40 ft

[1] Permintaan keterangan harus dialamatkan kepada National Cartographic Information Center, Reston, VA 22092, Telepon: (703) 860-7000.

(1 : 480) mendekati perbandingan metrik 1 : 500.

Pembahasan dalam bab ini terutama akan dibatasi pada peta-peta skala-besar. Sebuah peta yang digambar dengan suatu skala dapat diperbesar atau diperkecil dengan sebuah pantograf, proyektor pantul, atau secara fotografis. Tetapi penting untuk dicatat bahwa untuk peta yang diperbesar, galat-galatnya juga diperbesar dan produk hasilnya mungkin tidak lagi memenuhi persyaratan ketelitian baku.

17-4. PENGGAMBARAN PETA. Penggambaran peta pada umumnya terdiri atas dua tahap: persiapan naskah dan penggambarap peta akhir. Naskah biasanya disusun dengan pensil. Naskah harus disiapkan dengan cermat untuk menetapkan lokasi semua ciri dan garis tinggi seteliti mungkin dan tiap detailnya lengkap, termasuk penempatan simbul-simbul dan huruf-huruf. Penulisan pada naskah tak perlu dikerjakan sangat hati-hati, karena tujuan utamanya adalah untuk menjamin rancangan keseluruhan peta yang baik dan penempatan yang benar. Naskah yang disiapkan dengan baik merupakan ancang-ancang untuk mencapai sebuah peta akhir yang berkualitas tinggi.

Bahan persiapan yang telah selesai kemudian digambar dengan tinta atau *digores.* Kedua proses itu melibatkan pengutipan garis dari naskah. Bila digambar dengan tinta, naskah ditempatkan di atas "meja tembus sinar" dan ciri-ciri ditelusur dari bahan kutipan pada sehelai material-tindih yang tembus sinar dan bersifat basis-stabil. Biasanya dikerjakan penulisan huruf-huruf dulu; kemudian ciri-ciri planimetrik dan garis tinggi ditelusur menurut gambar pada naskahnya.

Penggoresan dilakukan pada lembaran-lembaran material basis-stabil transparan yang dilapisi dengan emulsi tak tembus sinar. Garis-garis dari naskah dipindahkan ke atas lapisan emulsi dengan proses laboratorium. Alat-alat penggores khusus, dipakai untuk berbagai lebar garis dan membuat simbul-simbul baku. Garis-garis yang menggambarkan ciri-ciri dan garis tinggi disiapkan dengan menggores dan mengupas lapisan. Penggoresan pada umumnya lebih mudah dan lebih cepat daripada menggambar dengan tinta, dan pemakaiannya makin meningkat.

Penggambaran-tindih (overlay drafting) untuk memutakhirkan kondisi-kondisi topografik yang berubah dan menghasilkan sebuah peta gabungan yang akurat, sekarang ini praktis dan ekonomis. Penandaan batang-jarum (pin bar registration) memakai sebuah jalur logam dengan jarum-jarum proyeksi dan film Mylar yang ditusuk dengan benar di satu tepi pada selang yang sesuai menyebabkan "tindih-lapis" yang tepat. Tahap-tahap perubahan dan perkembangan ditunjukkan dengan mudah.

gambaran titik-titik kontrol; (2) penggambaran detail-detail; (3) penggambaran data topografi dan data khusus; dan (4) penyelesaian peta, termasuk memberi nama dan menulisi dengan huruf-huruf.

17-5. MENGGAMBAR TITIK KONTROL. Metode yang dipilih untuk penggambaran titik kontrol tergantung pada prosedur pengukuran yang dipakai untuk menetapkannya dan/atau formulir di mana data titik kontrol tersedia. Pengukuran titik kontrol dengan poligon dapat digambar sebagai serangkaian sudut (memakai salah satu metode yang dibicarakan dalam Paragraf 17-6) dan jarak-jarak dipasang dengan skala yang terpilih untuk peta itu (misalnya, 1 in = 10, 20, 40, 50, atau 100 ft bila dipakai sistem Inggris, atau 1:100, 1:200, 1:500, 1:1000, dan seterusnya dalam satuan-satuan metrik). Mistar skala sudah cukup baik tetapi sebaiknya dilengkapi dengan mistar skala baja dan jangka tusuk untuk menandai titik kontrol dengan teliti barangkali sampai 0,02 atau 0,01 in atau lebih baik.

Untuk poligon yang digambar dari sudut-sudut dan jarak-jarak, sudut-sudut arah dan panjang jurusan ditulisi sejajar garisnya sehingga dapat dibaca dengan mudah bila pemakai melihat ke lembar peta *dari bagian bawah atau sebelah kanan.* Sudut arah ditunjukkan

ke arah depan dan bersambung keliling poligon. Bila sebuah arah dibaca dari kiri ke kanan, tetapi sebenarnya bergerak dari kanan ke kiri, *sebuah panah dipakai untuk menunjukkan arah yang benar,* seperti pada Gambar 17-7.

Sebagai pengganti sudut dan jarak, metode koordinat dapat dipakai untuk menggambar poligon setelah menghitung harga-harga X dan Y titik-titik seperti dijelaskan dalam Paragraf 13-8. Jika titik-titik kontrol ditetapkan dengan triangulasi atau trilaterasi, lokasi titik barangkali akan dihitung dalam koordinat siap untuk cara penggambaran paling teliti dan mudah. Mula-mula lembar peta digambari dengan saksama pola kisi dengan ukuran yang sesuai pada bujursangkar satuannya, misalnya 100, 400, 500, atau 1000 ft, dan dicek dengan mengukur diagonalnya. Masing-masing garis kisi diberi angka sesuai dengan harga koordinatnya. Pusat koordinat dapat dipilih titik stasiun paling barat atau paling selatan pada poligon, atau di suatu titik di luar lembar peta untuk menjamin semua harga plus.

Titik-titik kontrol digambar dengan mengukur harga-harga koordinat X dan Y-nya dari garis-garis kisi yang dibuat. Lingkaran kecil dengan garis tengah $\frac{1}{8}$ in atau kurang, digambar untuk mendandai patok-patok. Bila ada galat dalam penggambaran ditemukan dengan jalan membandingkan jarak terskala dan sudut arah masing-masing garis dengan panjang dan arah yang diukur di lapangan atau dihitung. Pada kebanyakan peta topografik, lokasi patok-patok dihilangkan dari gambar rampung. Bila ditunjukkan, bisa digambar dengan tinta biru muda agar tidak nampak menonjol setelah dicetak.

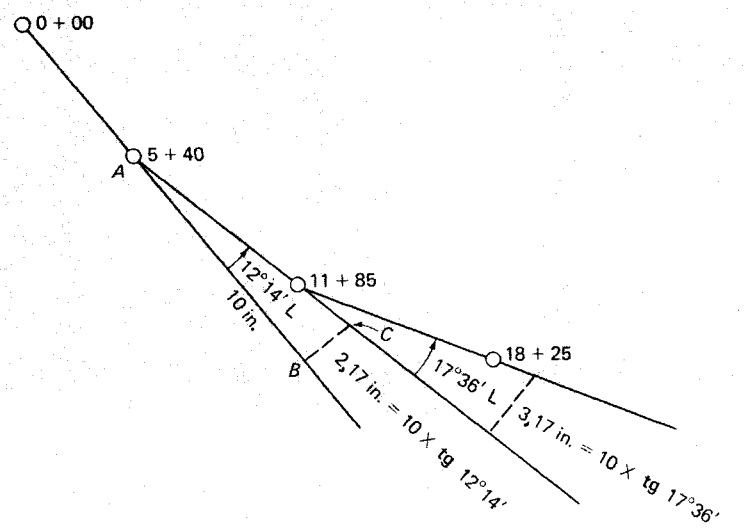
Instrumen khusus yang disebut *koordinatograf* dapat dipakai untuk menggambar kisi dan menggambar titik dengan koordinatnya. Penunjuk dipasang sesuai harga koordinat pada galur X yang tegak lurus Y dengan pembagian skala, menyebabkan penggambaran dapat dilaksanakan dengan cepat dan teliti. Sekarang sedang dengan cepat menjadi terkenal untuk penggambaran peta yaitu koordinatograf otomatis yang digerakkan oleh komputer. Sistem ini dibicarakan dalam Paragraf 17-17.

17-6. MENGGAMBAR SUDUT (PLOTTING ANGLES). Sudut dapat digambar dengan metode tangen, metode tali busur, atau dengan busur derajat. Prosedur-prosedur ini diterangkan dalam paragraf-paragraf berikut.

17-6.1. METODE TANGEN. Untuk memasang sudut dengan metode tangen, sebuah jarak yang mudah, diukur sepanjang sebuah garis acuan yang berlaku sebagai basis. Jadi dalam Gambar 17-1, untuk menggambar sudut belokan $12°14'$ di titik A, panjang AB sama dengan 10 in pertama-tama ditandai pada perpanjangan garis belakang. Sebuah garis tegaklurus sepanjang AB tg $12°14'$ (2,17 in) ditarik dari B untuk memperoleh titik C. Garis hubung A dan C membentuk dengan AB sudut yang dikehendaki. Panjang basis AB bisa berapa saja, tetapi angka jarak 10 atau 100 satuan memudahkan perkalian dengan tg (tangen) karena tinggal memindah koma desimal.

Metode tangen dipakai secara luas untuk menggambar sudut belokan. Metode ini tidak praktis untuk sudut-sudut langsung yang besar.

17-6.2. METODE TALI BUSUR. Untuk memasang sudut dengan metode tali busur, seperti ditunjukkan dalam Gambar 17-2, mula-mula dibuat basis yang mudah dengan panjang BD sebesar 10 satuan, pada sisi BA. Ini menghasilkan titik D. Dengan puncak B sebagai titik pusat dan jari-jari 10 satuan, dibuat sebuah busur. Kemudian dengan D sebagai titik pusat dan jari-jari sama dengan tali busur sudut yang dikehendaki, busur lain ditarik. Perpotongan dua busur tadi merupakan lokasi titik E. Garis BE merupakan kaki sudut yang kedua.



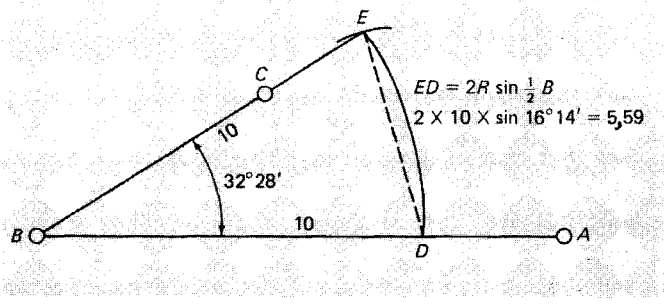
Gambar 17-1. Metode tangen.

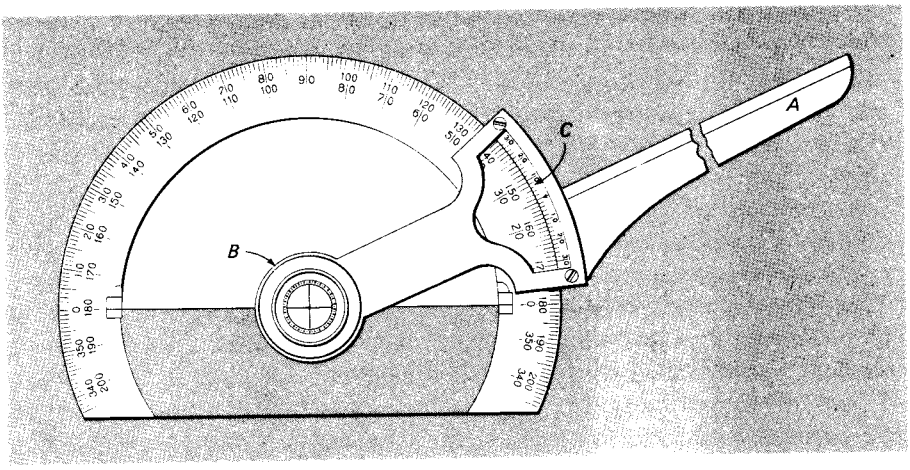
Tali busur sebuah sudut dicari dengan mengalikan dua kali jarak *BD* dengan sin setengah sudutnya. Jadi pada Gambar 17-2 tali busur itu adalah $2 \times 10 \times \sin 16°14'$. Dengan mengambil basis sebesar 10, 50, atau 100 satuan menurut suatu skala, tali busur mudah dihitung memakai sin dari kalkulator.

17-6.3. METODE BUSUR DERAJAT (PROTRACTOR METHOD). Busur derajat adalah alat yang terbuat dari kertas, plastik, atau logam, dipotong membentuk lingkaran penuh atau setengah lingkaran, dan pada kelilingnya ada pembagian sudut. Sebuah titik halus merupakan pusat lingkarannya, busur derajat dipusatkan pada sudut puncak dengan garis nol sepanjang sebuah kaki dan titik sudut yang benar ditandai pada bagian tepinya.

Busur derajat tersedia dalam berbagai ukuran dengan jari-jari dari 2 sampai 8 in atau lebih. Sebuah lingkaran logam dengan lengan yang dapat digerakkan, memanjang dari tepi lingkaran, seperti ditunjukkan pada Gambar 17-3, sering dipakai. Lengan *A* berputar me-

Gambar 17-2. Metode tali busur.





Gambar 17-3. Busur derajat

ngelilingi pusat *B* dan mempunyai nonius *C* pembacaan sampai menit. Susunan serupa pada mesin gambar dapat mempercepat penggambaran dan teliti.

Busur derajat dipakai secara universal untuk menggambar detail-detail tetapi umumnya tidak cocok untuk pekerjaan poligon atau titik kontrol dengan kesaksamaan tinggi.

17-7. KEBAIKAN DAN KEBURUKAN METODE-METODE YANG BERBEDA. Memakai metode koordinat, dengan mudah dapat ditemukan bila ada galat besar dalam penggambaran, memakai penerapan skala. Pembetulan biasanya hanya dengan menggambar kembali satu titik. Misalnya, jika jarak terskala garis *CD* dan *DE* sebuah poligon tergambar tidak sama dengan pengukuran lapangannya, titik *D* meleset. Ketaktergantungan masing-masing titik dalam prosedur penggambaran merupakan kebaikan yang pasti.

Metode tangen itu teliti dan barangkali cara yang terbaik untuk mengukurkan sudut tunggal dengan saksama. Tetapi dalam penggambaran poligon, galat pada sembarang sudut atau jarak terbawa terus sepanjang sisa poligon. Jika poligon tidak dapat tertutup, tiap sudut dan garis harus dicek. Bila kesalahan penutup disebabkan karena penggambaran dan bukan karena pekerjaan lapangan, boleh jadi perlu memutar tiap garis kecuali yang pertama, sedikit saja tetapi berlanjut terus.

Metode tali busur juga mempunyai kelemahan bahwa galat-galat dalam garis poligon diteruskan ke jurusan-jurusan berikutnya. Penarikan garis tegaklurus dihindarkan, tetapi penentuan panjang tali busur agak lebih makan tenaga daripada menemukan simpangan tegaklurus.

Memasang sudut dengan busur derajat adalah yang tercepat tetapi merupakan metode yang paling kurang teliti.

17-8. MENGGAMBAR DETAIL. Seperti dalam penggambaran poligon titik-titik kontrol, metode-metode yang dipakai untuk meletakkan posisi detail-detail pada peta tergantung pada prosedur pengukuran yang dipakai untuk menentukan lokasinya, dan bentuk di mana data itu berada. Bila catatan lapangan adalah sudut dan jarak, pojok batas dan titik-titik penting di atas mana pekerjaan konstruksi boleh jadi tergantung padanya, digambar dengan metode koordinat atau metode tangen, tetapi detailnya kebanyakan digambar dengan busur derajat. Orientasi garis nol busur derajat adalah dengan meridian untuk detail-detail yang diperoleh dengan azimut atau sudut arah, dan dengan garis bidikan bela-

kang jika diukur sudut-sudut langsung. Sudut-sudut ditandai sepanjang tepi busur derajat, dan jarak digambar dengan skala dari puncak untuk menggambar detail. Untuk mencegah hilangnya puncak dengan banyak garis yang kemudian dihapus, sebuah mistar skala dapat diletakkan di samping puncak searah sebuah detail topografik dan lokasinya digambar langsung pada jarak yang diperlukan. Atau, dapat digambar sebuah garis pendek dari titik sudut hanya sampai perkiraan panjangnya dan panjangnya yang tepat diskala padanya.

Beberapa busur derajat mempunyai pembagian skala pada lengannya untuk membuat penggambaran detail lebih mudah. Agar dicapai ketelitian yang terbaik, jarak ke detail harus lebih pendek daripada jari-jari busur derajat kecuali dipakai jenis yang lengannya dapat diperpanjang.

Jika instrumen stasiun-kotah telah dipakai untuk menentukan lokasi detail-detail di lapangan, koordinatnya mungkin sekali telah dihitung dan direkam serta siap digambar. Koordinatograf, terutama yang dikendalikan oleh komputer, adalah luar biasa cepat dan akurat.

17-9. INTERVAL GARIS TINGGI. Seperti disebutkan dalam Paragraf 16-7, pemilihan interval garis tinggi untuk dipakai pada sebuah peta topografik tergantung pada pemakaian yang diinginkan, ketelitian yang diperlukan, jenis lapangan, dan skala. Menurut National Standards of Map Accuracy (Patokan Ketelitian Peta Nasional), jika elevasi-elevasi dapat diinterpolasi dari sebuah peta sampai batas setengah interval garis tinggi, maka untuk ketelitian 1 ft, diperlukan interval garis tinggi maximum 2-ft. Tetapi bila hanya diperlukan ketelitian 10-ft, interval garis tinggi (countour) sebesar 20-ft sudah cukup.

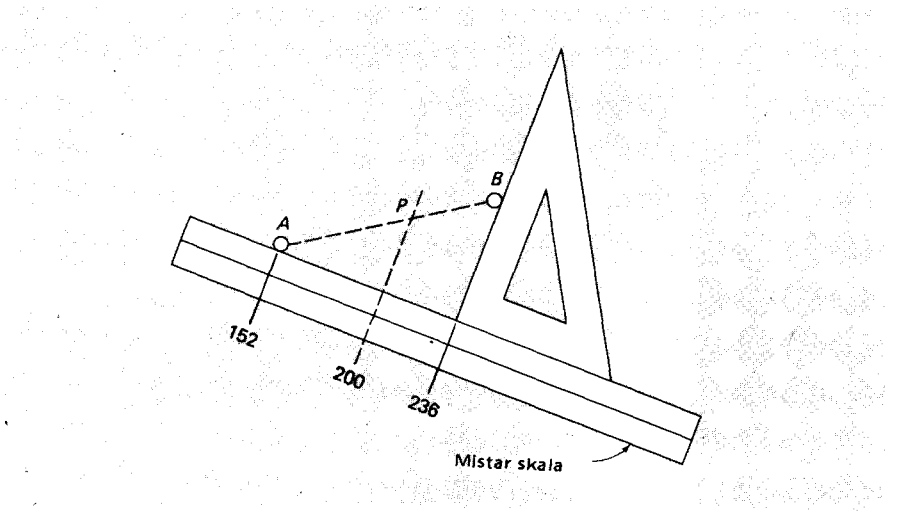
Jenis terein lapangan dan skala peta bersama menentukan interval garis tinggi yang diperlukan untuk menghasilkan kerapatan (pemisahan) garis tinggi yang sesuai. Tanah berbukit-bukit memerlukan interval garis tinggi yang lebih besar daripada daerah yang berlereng landai, sedangkan tanah datar menuntut interval yang nisbi lebih kecil agar permukaannya cukup tergambar kesannya. Juga, bila skala peta diperkecil, interval garis tinggi harus bertambah; kalau tidak, garis-garisnya akan terlalu penuh, membingungkan pemakai dan mungkin mengaburkan detail-detail penting lainnya.

Untuk kebanyakan terein lapangan, skala peta besar dan menengah dalam hubungannya dengan interval garis tinggi berikut ini umumnya menghasilkan pemisahan garis tinggi yang sesuai:

SISTEM INGGRIS		SISTEM METRIK	
SKALA (ft/in)	INTERVAL GARIS TINGGI (ft)	SKALA	INTERVAL GARIS TINGGI (m)
50	1	1:500	0,5
100	2	1:1000	1
200	5	1:2000	2
500	10	1:5000	5
1000	20	1:10.000	10

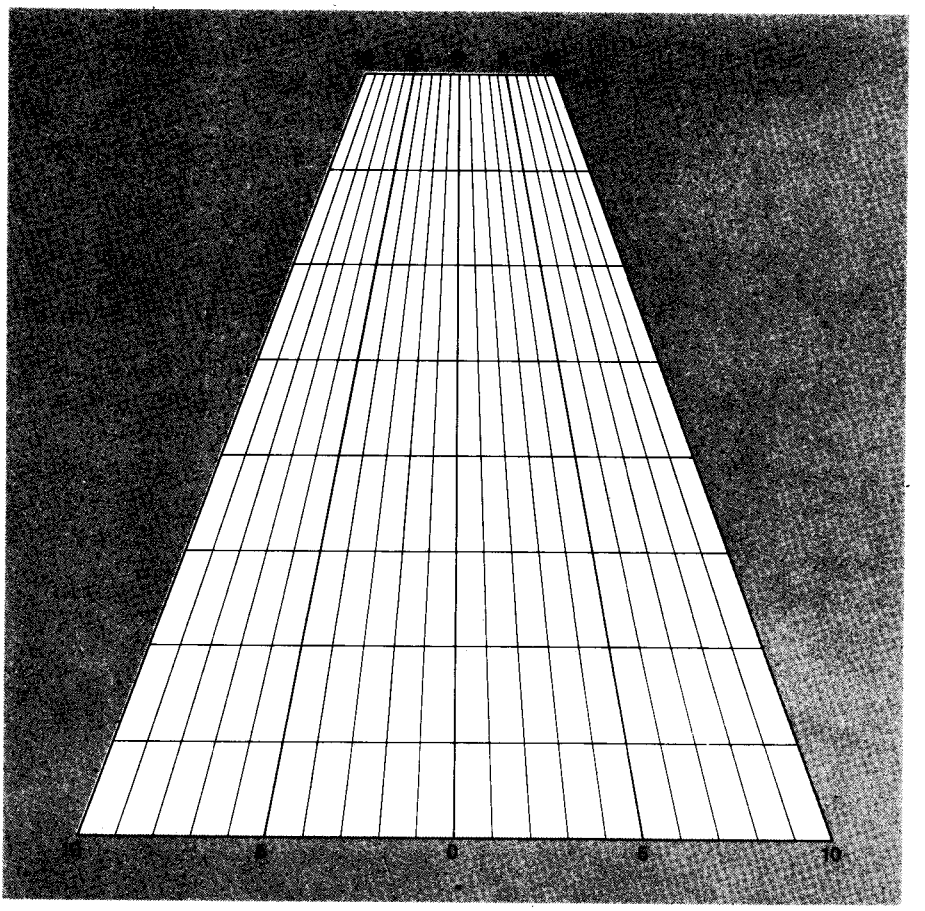
17-10. MENGGAMBAR GARIS TINGGI. Titik-titik yang akan dipakai untuk penggambaran garis tinggi ditentukan lokasinya dengan cara yang sama dengan untuk detail-detail. Garis tinggi yang ditemukan dengan *metode langsung* dibuat sketsanya melalui titik-titik itu. Interpolasi antara titik-titik tergambar diperlukan untuk *metode tak langsung.*

Interpolasi untuk menemukan lokasi garis tinggi antara titik-titik yang diketahui elevasinya dapat dikerjakan dalam beberapa cara:



Gambar 17-4. Menginterpolasi memakai mistar skala dan segitiga.

1. Penaksiran (estimating).
2. Memakai skala jarak antara titik-titik yang diketahui elevasinya dan menentukan lokasi titik-titik garis tinggi dengan perbandingan seharga.
3. Memakai gelang karet diberi pembagian skala dan memulurkannya sehingga tanda-tanda dengan mudah tepat pada titik-titik yang diketahui elevasinya. Alat khusus yang disebut *skala variabel* tersedia untuk cara ini, yang mempunyai pegas dengan pembagian skala. Pegas dapat diregangkan agar tanda-tanda yang sesuai tepat pada elevasi yang diketahui.
4. Memakai sebuah segitiga dan mistar, seperti pada Gambar 17-4. Untuk menginterpolasi garis tinggi 420-ft antara titik *A* dengan elevasi 415,2 dan titik *B* dengan elevasi 423,6, mula-mula pasanglah tanda 152 pada skala sembarang di depan *A*. Kemudian dengan satu sisi segitiga menempel mistar dan pojok 90° pada 236, mistar dan segitiga bersama-sama diputar mengelilingi *A* hingga sisi siku-siku segitiga lewat titik *B*. Sekarang segitiga digeser sampai tanda 200 dan dicoret perpotongan sisi tadi dengan garis *AB*. Ini adalah titik garis tinggi *P* hasil interpolasi.
5. Memakai sepotong plastik tipis, yang merupakan alat dengan garis-garis mengumpul, semacam yang terlihat pada Gambar 17-5, yang dapat diputar dan diatur agar sesuai dengan selisih elevasi antara sembarang dua titik. Prosedurnya digambarkan dengan contoh berikut ini: Misalnya dua titik tergambar *A* dan *B* mempunyai elevasi 17,6 dan 25,9. Tariklah garis lurus lewat keduanya. Tentukan selisih antara elevasi yang diberikan sampai angka bulat terdekat. Karena 25,9 − 17,6 = 8,3 pakailah 8. Tempatkan penemu garis tinggi di atas peta sedemikian rupa sehingga garis-garis horisontalnya sejajar garis *AB* dan delapan interval hampir memenuhi ruang antara titik-titik tergambar. Aturlah penemu garis tinggi sehingga titik 17,6 (*A*) terletak 0,6 ke dalam interval pertama dan titik 25,9 (*B*) terletak 0,9 melewati interval ke delapan. Dengan jarum tusuk, tandailah dengan menusuk penemu garis tinggi pada titik-titik garis tinggi yang diinginkan. Kelemahan yang terlihat jelas adalah bahwa naskah (dan penemu garis tinggi yang dapat dibuang) menjadi berlubang-lubang bekas tusukan.



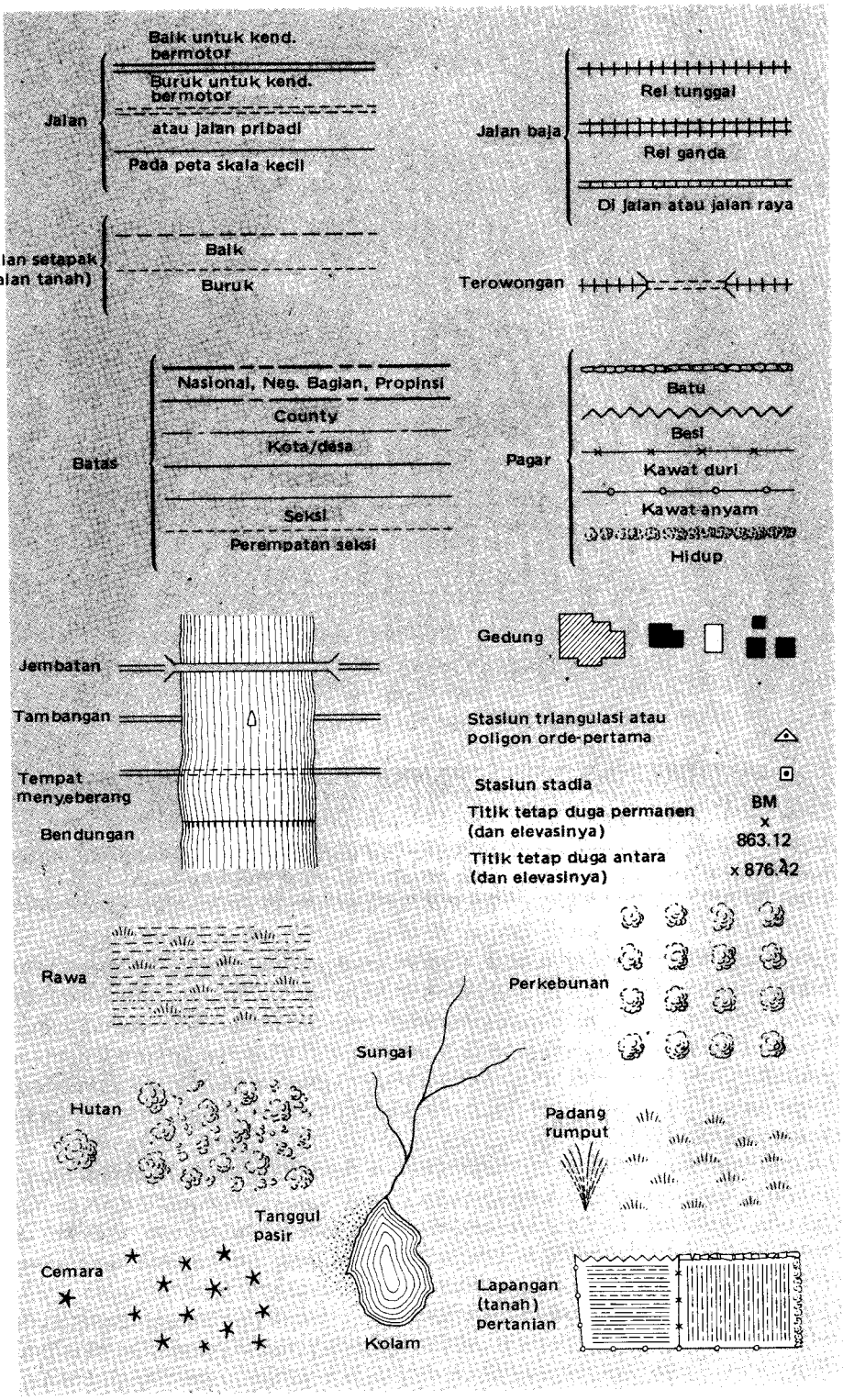
Gambar 17-5. Penemu garis tinggi untuk menginterpolasi garis tinggi antara elevasi-elevasi tergambar, dengan anggapan bahwa lerengnya seragam. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).

Garis tinggi hanya digambar untuk elevasi-elevasi yang merupakan kelipatan interval garis tinggi. Jadi, untuk interval 20-ft, elevasi-elevasi 800, 820, dan 840 ditunjukkan, tetapi 810, 830 dan 850 tidak. Untuk menambah kejelasan, setiap garis kelima, kelipatan 5 kali interval garis tinggi, digambar lebih tebal. Jadi untuk interval 20-ft, garis-garis 800, 900, dan 1000 akan lebih tebal. Pada peta-peta U.S. Geological Survey, warna baku untuk garis tinggi yang ditinta adalah sepia (coklat tua kemerahan), tetapi pada peta-peta rekayasa skala besar, garis ini biasanya hitam.

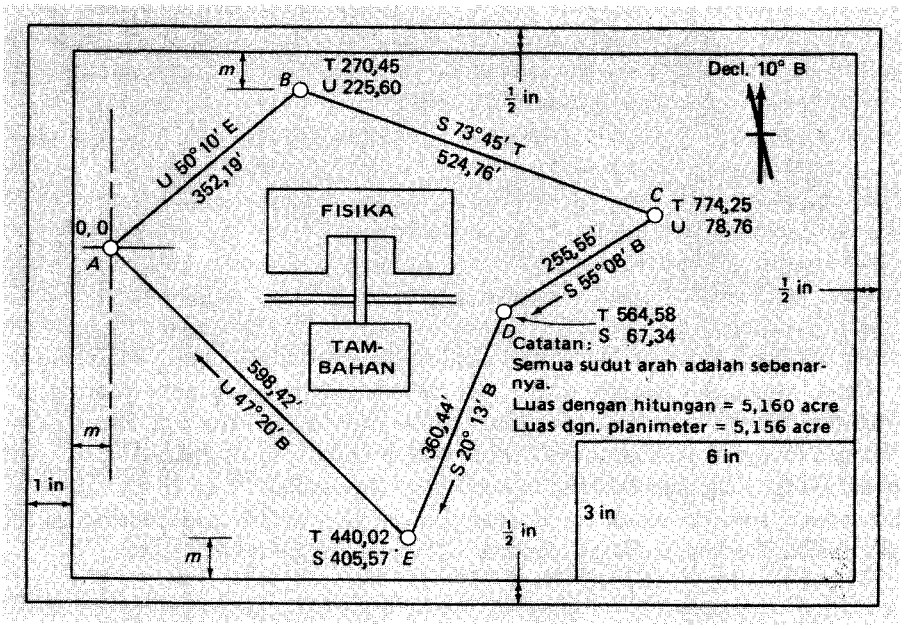
Bukit, pegunungan, lekukan dan naik turunnya permukaan tanah dapat pula disajikan dengan arsiran dan bentuk-bentuk lain bayang-bayang bukit. *Arsiran* adalah garis-garis pendek digambar searah lereng. Garisnya tebal dan rapat untuk lereng curam, tipis dan renggang untuk lereng landai. Arsiran hanya menunjukkan kesan bentuk tanah secara umum dan bukan elevasi sehingga tidak cocok untuk kebanyakan pekerjaan rekayasa.

Quick Topo Plotter, serangkaian diagram dibuat dari Mylar mempunyai skala-skala berbeda dan sebanding dengan penemu garis tinggi, mempercepat penggambaran informasi topografik tanpa mengorbankan ketelitian. Diagram ini menghilangkan kebutuhan skala.

17-11. SIMBOL-SIMBOL TOPOGRAFIK. Simbol-simbol baku dipakai untuk menunjukkan ciri-ciri topografik khusus, karenanya memungkinkan untuk menunjukkan banyak



Gambar 17-6. Simbul-simbul topografik.



Gambar 17-7. Rancangan peta.

detail pada sebuah lembar peta. Gambar 17-6 memberikan beberapa dari ratusan simbul yang dipakai pada peta topografik. Banyak latihan diperlukan untuk menggambar simbul-simbul ini dengan baik pada skala yang cocok. Sebelum ditempatkan pada peta, benda-benda seperti gedung, jalan, dan garis batas digambar dan ditinta. Kemudian simbul-simbul digambar, atau dipotong dari lembaran "tempel" baku yang berperekat di belakangnya, kemudian ditempelkan pada petanya. Sebuah peta yang mempunyai detail lengkap dengan pewarnaan dan bayang-bayangan adalah sebuah karya seni.

17-12. MENEMPATKAN PETA DALAM LEMBARAN. Penampilan sebuah peta rampung sangat berarah kepada dapat diterima dan nilainya. Peta yang buruk susunnya, ditulisi dengan sembarangan, dan nampak tak selesai, tidak mengilhami kepercayaan terhadap ketelitiannya. Sebuah garis batas yang agak lebih tebal daripada semua garis lainnya menambah baiknya penampilan lembar peta.

Langkah pertama dalam penyusunan peta adalah menentukan kedudukan terbaik untuk titik kontrol dan topografi sehingga "seimbang" letaknya dalam lembar peta. Gambar 17-7 menunjukkan sebuah poligon (tanpa topografi di luarnya) yang ditempatkan dengan baik.

Sebelum penggambaran apapun dikerjakan, harus dipilih skala yang sesuai dengan lembar kertas yang diberikan. Misalnya lembaran kertas berukuran 18 x 24-in di kiri ada tepi 1-in (untuk tempat penjilidan yang mungkin dikerjakan nanti) dan batas $\frac{1}{2}$-in di ketika sisi lainnya. Jika stasiun paling barat A telah dipilih sebagai pusat koordinat, maka bagilah seluruh jumlah ΔX sampai ke titik paling timur C, dengan banyaknya in ruang tersedia untuk gambar pada arah timur-barat. Skala maximum yang mungkin dalam Gambar 17-7 adalah 774,25 dibagi 22,5 atau 1 in = 34 ft. Skala baku terdekat yang cocok adalah 1 in = 40 ft.

Skala ini harus dicek pada arah Y dengan membagi jumlah ΔY, yaitu 225,60 + 405,57 = 631,17 dengan 40 ft, menghasilkan 15,8 in yang diperlukan pada arah utara-selatan.

Karena 16,5 in dapat dipakai, skala 1 in = 40 ft cukup memuaskan walaupun 1 in = 50 ft memberikan batas tepi yang lebih baik. Jika skala 1 in = 40 ft tidak cocok dengan tujuan peta, harus dipilih lembar peta dengan ukuran lain, atau barangkali harus dipakai lebih dari satu lembar untuk memetakan seluruh wilayahnya.

Pada Gambar 17-7 poligon ditepatkan di lembaran pada arah Y dengan membuat masing-masing jarak m sama dengan $\frac{1}{2}[17 - (631{,}17/40)]$, atau 0,61 in, dan angka 0,61 in dipakai juga untuk batas kiri. "Bobot" judul, catatan, dan panah utara mengimbangi letak poligon yang lebih banyak ke kiri dari pusat lembaran.

Bila topografi akan digambar di luar poligon, jarak-jarak utara-selatan dan timur-barat maksimum ke ciri-ciri topografik harus ditambahkan pada koordinat poligon sebelum dibuat hitungan untuk skala dan jarak-jarak pemusatan.

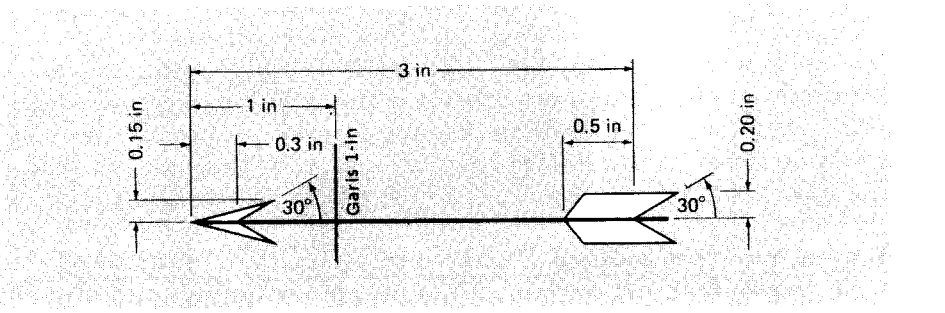
Pada beberapa jenis peta dibolehkan memiringkan meridian terhadap batas lembar peta agar dapat mewadahi dengan lebih baik, sebuah poligon yang nisbi panjang di arah UT–SB atau UB–ST, atau agar jalur-jalur jalan sejajar dengan garis tepi. Jika sebuah poligon dengan topografi akan digambar dengan cara selain koordinat, disarankan agar pertama membuat sketsa yang menunjukkan ciri-ciri yang menentukan . Jika ini dikerjakan di atas kertas tembus sinar, orientasi untuk memperoleh penyesuaian dan penampilan terbaik dengan mudah ditentukan dengan memutar dan menggeser kertas tembusnya.

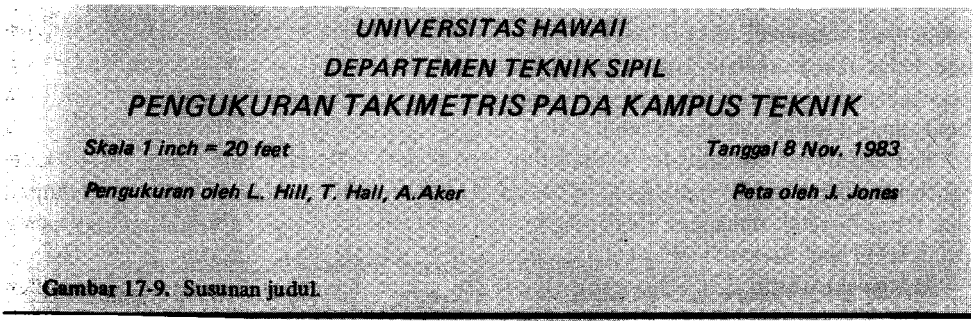
17-13. PANAH MERIDIAN. Setiap peta harus menunjukkan panah meridian untuk tujuan-tujuan orientasi. Seharusnya lebih baik dekat bagian atas lembaran, walaupun boleh digeser ke tempat lain untuk keseimbangan. Panah tak boleh terlalu besar, bergaris-garis hias, atau diberi warna hitam penuh sehingga menjadi titik berat lembar peta, seperti yang dikerjakan pada peta-peta 50 tahun yang lalu.

Dapat ditunjukkan utara sebenarnya, utara kisi atau utara magnetik, atau seluruh ketiganya. Panah meridian sebenarnya digambar dengan ujung penuh dan bulu (pangkal) lengkap; panah grid atau/dan magnetik dinyatakan dengan setengah ujung dan setengah bulu. Setengah-ujung dan setengah-pangkal diletakkan di samping jauh dari panah utara sebenarnya agar tidak menyentuhnya. Gambar 17-8 menunjukkan ukuran-ukuran panah yang cocok untuk peta-peta rutin. Dalam praktek, sebuah panah diambil dari lembar-lembar pedoman, atau dipotong dari lembar "gambar tempel" untuk ditempelkan di peta.

17-14. JUDUL. Judul boleh ditempatkan di mana saja yang dapat mengimbangi lembar peta sebaik-baiknya, tetapi selalu dijaga agar di luar garis-garis pemilikan tanah pada pengukuran batas. Judul biasanya menduduki pojok kanan bawah, dengan catatan-catatan yang berkaitan, langsung di atas atau di sebelah kirinya. Pencarian sebuah peta tertentu pada

Gambar 17-8. Ukuran panah sederhana.





Gambar 17-9. Susunan judul.

sebuah kumpulan terjilid atau tumpukan gambar-gambar lepas, dipermudah bila semua judul ada di lokasi yang sama. Karena lembaran-lembaran disimpan datar, dijilid di tepi kiri atau digantung dari bagian atas, pojok kanan bawah merupakan kedudukan yang memudahkan.

Judul harus menyatakan jenis peta, nama tanah milik atau proyek dan pemilik atau pemakainya, lokasi atau wilayah, tanggal selesainya, skala, interval garis tinggi, datum-datum horisontal dan vertikal yang dipakai, dan nama juru ukur dengan nomor izinnya pada pengukuran hak milik. Data tambahan boleh jadi diperlukan pada peta-peta tujuan khusus. Penulisan huruf-huruf sebaiknya bergaya sederhana tanpa hiasan, dan sesuai ukurannya dengan lembaran peta individual. Titik berat diberikan pada bagian-bagian terpenting dari judul dengan memakai tulisan lebih tinggi dan huruf-huruf besar.

Itidal (simetri) garis besar sekitar garis tengah vertikal dengan sempurna itu perlu karena kata cenderung melebihkan suatu cacat. Juga, penampilan yang mantap diperoleh bila baris bawah dapat terisi penuh.

Sebuah contoh judul dan susunannya untuk lembar peta ukuran 18 × 24-in Gambar 17-7 diberikan pada Gambar 17-9. Tinggi huruf-huruf pada baris 1 dan 2 dapat dibuat $\frac{1}{4}$ in; baris 3, $\frac{5}{16}$ in; dan pada 2 baris terakhir, $\frac{1}{8}$ in.

Tak ada bagian peta yang lebih baik untuk menggambarkan kemampuan artistik seorang juru gambar daripada sebuah judul yang rapi dan tersusun baik. Tetapi dewasa ini kebanyakan perusahaan dan badan pemerintah memakai lembaran-lembaran yang telah dicetak lebih dulu ruang-ruang judulnya untuk diisi dengan data kerja masing-masing.

17-15. CATATAN. Catatan meliput ciri-ciri khusus yang berkaitan dengan peta individual, misalnya seperti di bawah ini:

Semua sudut arah adalah sudut arah sebenarnya (atau magnetik, atau kisi, atau terhitung).
Luas dengan hitungan adalah *X* acre atau hektar.
Luas dengan planimeter adalah *Y* acre atau hektar.
Legenda (penjelasan simbul-simbul biasa; misalnya, * adalah menara pendingin).

Catatan harus ada di tempat yang menonjol di mana pasti terlihat walaupun hanya pengamatan peta sepintas lalu. Lokasi terbaik adalah tepat di atas atau di kiri kotak judul di pojok kanan bawah peta. Selanjutnya seorang pemakai menemukan peta yang dikehendaki dari judulnya dan memeriksa kalau ada catatan khusus sebelum memeriksa gambarnya.

17-16. BAHAN PENGGAMBARAN. Film poliester, kertas tembus sinar, dan kertas gambar adalah material yang biasa dipakai untuk menyiapkan peta dalam kantor pengukuran

dan rekayasa. Poliester seperti Mylar sebegitu jauh merupakan yang paling sering dipakai karena ukurannya stabil, kuat, tahan lama dan tahan air; dapat ditulisi dengan pensil, tinta dan lembar tempelan; serta tahan dihapus. Kertas jiplak (tembus sinar) tersedia dalam berbagai kelas, dan yang baik juga stabil, dapat ditulisi dengan pensil, tinta dan gambar tempel, serta tahan dihapus sedikit. Baik Mylar maupun kertas jiplak adalah transparan sehingga dapat dipakai untuk membuat cetak biru.

Kertas gambar berbagai jenis dan kelas dipakai untuk penggambaran peta; tetapi, kelemahannya adalah tidak dapat dihapus banyak-banyak, lebih mudah robek, kalau tersimpan lama menjadi retak-retak dan tidak transparan. Kertas yang dilapisi aluminium atau perca adalah lebih baik daripada kelas-kelas lainnya.

Mengingat waktu dan biaya yang diperlukan untuk mengumpulkan data lapangan dan membuat konsep peta, kiranya dapat dibenarkan bila digunakan sedikit biaya lebih untuk memperoleh material penggambaran yang bermutu tinggi.

Pengukuran kapling kota, biasanya digambar pada lembar-lembar kecil, dan peta-peta lain dapat diperbanyak di kantor juru-ukur dengan proses jenis ozalid yang tidak memerlukan pembasahan dan pengeringan kertas cetaknya.

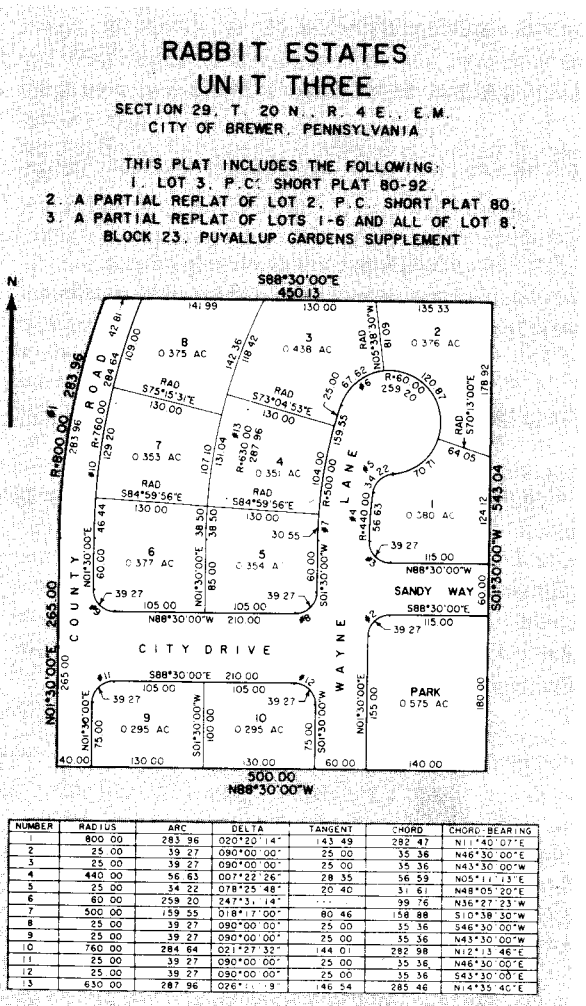
17-17. PEMETAAN OTOMATIS. Dewasa ini dibutuhkan data lebih banyak, lebih cepat dan lebih baik, untuk proyek-proyek individual maupun gabungan. Contoh-contohnya antara lain lokasi hak milik dan pemilikan, data transportasi, dan penyelidikan tanah dan mineral. Banyak dan beraneka ragam mesin elektronik telah dikembangkan untuk menggambar peta serta menyadap dan menganalisa data dari padanya secara otomatis. Galat-galat manusiawi ditekan minimum atau dihilangkan. Simbul-simbul khusus dapat ditentukan letaknya secara otomatis dengan menyentuh tombol.

Masukan yang diperlukan komputer untuk sistem pemetaan otomatik adalah data titik kontrol, informasi detail topografik, skala peta, dan interval garis tinggi. Program-program yang tepat memerintahkan komputer untuk memecahkan soal kedudukan titik-titik memakai data pengukuran dan untuk menggambar garis tinggi dan ciri-ciri lainnya.

Kebaikan sistem yang dikendalikan komputer adalah kecepatan, ketelitian, dan hasil akhirnya yang panggah seragam. Selain itu seluruh data dapat disimpan dalam sebuah bank data, atau pada pita magnetik dengan kode angka berbeda untuk berbagai jenis ciri, dan belakangan dapat ditarik kembali untuk penggambaran keseluruhan atau sebagian untuk peta tujuan khusus. Sebagai contoh, hanya jalan dan pelayanan umum yang diperlukan oleh departemen rekayasa kota, sedangkan seorang penaksir mungkin hanya menghendaki batas-batas pemilikan saja yang dipetakan. Skala dan interval garis tinggi dapat dibuat berbeda dengan mudah, dan persyaratan dapat ditentukan sistem satuan Inggris atau metrik.

Dengan informasi garis tinggi tersimpan dalam komputer, profil-profil sepanjang garis yang dipilih dapat digambar secara otomatis. Dengan menyertakan garis tanjakan dan gambar pola rancangan, dapat diperoleh informasi pancang pengukuran dan kuantitas pekerjaan tanah untuk proyek-proyek seperti jalan raya dan saluran.

Sistem penggambaran saling-tindak (interactive drafting system) yang termasuk tabung sinar katoda (CRT) dan mesin gambar otomatik yang dirangkai dengan komputer menjadi sangat serbaguna. Pemegang instrumen dapat mengamati gambar pengunjukan visual sebuah peta di layar CRT sewaktu disusun oleh komputer dan dapat mengadakan perubahan-perubahan yang diperlukan. Sebagai contoh, garis-garis dapat ditambahkan, dihapus, atau diganti gayanya; perubahan penempatan simbul-simbul dan penulisan; ukuran dan gaya penulisan ditambah ragamnya; dan yang penting peta dapat dirancang dan dicek kelengkapan dan ketelitiannya. Setelah pemegang instrumen puas karena peta telah memenuhi syarat-syarat dan rancangannya telah optimum, penggambar otomatis dihidupkan untuk membuat buram (draft) hasil akhir.



NUMBER	RADIUS	ARC	DELTA	TANGENT	CHORD	CHORD-BEARING
	800.00	283.96	020°20'14"	143.49	282.47	N11°40'07"E
2	25.00	39.27	090°00.00"	25.00	35.36	N46°30'00"E
3	25.00	39.27	090°00.00"	25.00	35.36	N43°30'00"W
4	440.00	56.63	007°22'26"	28.35	56.59	N05°11'13"E
5	25.00	34.22	078°25.48"	20.40	31.61	N48°05'20"E
6	60.00	259.20	247°31.14"	....	99.76	N36°27'23"W
7	500.00	159.55	018°17'00"	80.46	158.88	S10°38'30"W
8	25.00	39.27	090°00.00"	25.00	35.36	S46°30'00"W
9	25.00	39.27	090°00.00"	25.00	35.36	N43°30'00"W
10	760.00	284.64	021°27.32"	144.01	282.98	N12°13.46"E
11	25.00	39.27	090°00.00"	25.00	35.36	N46°30'00"E
12	25.00	39.27	090°00.00"	25.00	35.36	S43°30'00"E
13	630.00	287.96	026°1...9"	146.54	285.46	N14°35.40"E

Keterangan:

1. Ini adalah peta asli tidak diterjemahkan. Angka yang memakai tanda titik berarti desimal. (Contoh 450.13 berarti $450\frac{13}{100}$ atau dalam bahasa Indonesia 450,13).
2. Arti beberapa istilah:
   radius = jari-jari kelengkungan
   arc = busur
   delta = sudut pusat
   chord = tali busur
   chord-bearing = sudut arah tali busur.

Gambar 17-10. Peta kaplingan disusun secara otomatis dengan alat penggambar yang dikendalikan komputer. (Atas kebaikan Technical Advisors, Inc.)

Instrumen-instrumen pengukuran modern seperti jenis stasiun-kotah dan penggambar-stereo fotogrametrik menghasilkan sejumlah besar data terein dalam bentuk kordinat secara cepat dan ekonomis. Data itu, direkam secara digital dalam bentuk koordinat *X*, *Y* dan *Z* dari titik-titik kisi, menghasilkan *model terein digital* (digital terrain model, DTM). Informasi ini dapat dimasukkan ke dalam komputer, dan dengan sebuah program yang tepat dapat direduksi secara otomatis menjadi garis tinggi dan digambar.

Kartografi bantuan-komputer sedang mengubah pembuatan peta dengan cepat. Amerika Serikat telah mulai proses digital peta-peta segiempat sebanyak 40.000 lembar meliputi hampir seluruh negara. Sebuah alat yang disebut *penatap raster* (raster scanner), menatap material tercetak, garis demi garis, dan mengubah informasi itu ke dalam bentuk numeris.

Jalan-pintas lain ke produksi peta yang sedang dikaji adalah pembuatan lempeng negatif dengan laser yang memakai data digital dan laser ultraviolet untuk mengungkapkan lempeng cetak. Dengan ini dapat dihemat biaya film perak halida yang mahal.

Penjelasan produk-produk yang bersaingan untuk pemasaran baru, dapat diperoleh dari

kepustakaan pengukuran dan pabrik-pabriknya.

Gambar 17-10 adalah petak-petak kapling planimetrik dengan komputer.

17-18. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM PEMETAAN. Sumber-sumber galat dalam pemetaan adalah:

1. Tidak mengecek (dengan skala) jarak-jarak sewaktu menggambar dengan koordinat.
2. Penggambaran dengan busur derajat.
3. Memakai pensil lunak, atau ujungnya tumpul untuk menggambar.
4. Keragaman ukuran lembar-lembar peta karena suhu dan kelengasan udara.
5. Pemilihan skala atau interval garis tinggi yang tidak sesuai untuk petanya.

17-19. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan yang biasa dalam pemetaan adalah:

1. Pemberian orientasi catatan-catatan topografik yang tidak benar di lapangan dan di kantor.
2. Keliru memakai tepi mistar skala.
3. Membuat panah arah utara terlalu besar, kompleks atau hitam.
4. Menghilangkan skala atau catatan-catatan yang perlu.
5. Kelalaian membuat lembar peta yang seimbang dengan sketsa pendahuluan.
6. Penggambaran peta di atas medium yang bermutu rendah.

SOAL-SOAL

17-1. Apakah tahana metrikasi dalam pengukuran?

17-2. Persyaratan menuntut galat-galat penggambaran tetap dalam batas 5 ft dalam memakai mistar skala. Berapakah skala peta terkecil yang layak? Ketelitian pemakaian skala minimum adalah $\frac{1}{50}$ in.

17-3. Pada sebuah lembar kertas planset dengan skala 1 : 3600, berapakah jarak terpendek yang dapat digambar dengan sebuah mistar skala? Ketelitian pemakaian skala minimum adalah $\frac{1}{100}$ in.

17-4. Buatlah klasifikasi peta-peta pada Gambar 16-2, 16-6, dan 17-10 atas dasar skalanya.

17-5. Jelaskan tiga persyaratan untuk mana penggambaran tindih itu bermanfaat.

17-6. Mengapa sebuah panah harus ditambahkan pada sudut arah dibaca dari kiri ke kanan tetapi sebenarnya bergerak dari kanan ke kiri?

17-7. Tuliskan berdampingan berbagai metode penggambaran titik kontrol dan poligon. Berikan keuntungan dan kerugian nisbi masing-masing.

17-8. Sama dengan Soal 17-7, kecuali untuk penggambaran detail-detail topografik.

17-9. Berapa skala-skala perbandingan yang sesuai untuk mengganti skala-skala ekivalen berikut ini: 1 in = 8 ft, in = 20 ft, in = 40 ft, 1 in = 80 ft, i n = 200 ft, dan 1 in = 800 ft.

17-10. Mengapa garis-garis poligon diunjukkan dengan warna biru muda pada peta ukur? Haruskah patok-patok digambar biru muda atau hitam? Mengapa?

17-11. Sebuah wilayah mempunyai keragaman elevasi dari 626 sampai 715 sedang dipetakan. Bila dipakai interval 10-ft, interval-interval garis tinggi manakah yang diberi angka? Garis-garis manakah digambar lebih tebal?

17-12. Untuk pemetaan terein rata-rata, berapakah interval garis tinggi yang Anda anjurkan untuk skala-skala peta 1 in = 200 ft, 1 : 1000, dan 1 : 24.000?

17-13. Tuliskan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan interval garis tinggi.

17-14. Kapankah garis-garis bentuk dipakai pada peta? Bagaimana bedanya dengan garis tinggi?
17-15. Apa yang dimaksud dengan pernyataan: Peta garis tinggi kurang memberi kesan?
17-16. Tuliskan empat klasifikasi empat hal mudah yang dapat dinyatakan pada peta-peta tujuan umum.
17-17. Gambarlah simbul-simbul konvensional untuk batas-batas negara, negara bagian dan county.
17-18. Gambarlah garis-garis tinggi 1 ft untuk data dalam Gambar D-6.
17-19. Buatlah sketsa garis tinggi 5-ft untuk catatan dalam Gambar D-10.
17-20. Gambarlah topografi yang diliput pada Gambar D-9.
17-21. Jika elevasi-elevasi pada sebuah peta harus diinterpolasi sampai ± 2 ft terdekat, berapa interval garis tinggi yang perlu menurut Pembakuan Ketelitian Peta Nasional?
17-22. Jelaskan dua langkah pertama dalam penggambaran sebuah peta pengukuran dan bagaimana cara menyelesaikan sebaik-baiknya?
17-23. Bagaimana perbedaan ciri-ciri yang ditunjukkan pada sebuah peta topografik wilayah besar dan pada sebuah peta wilayah kecil?
17-24. Tuliskan hal-hal yang harus ada dalam catatan atau judul sebuah peta profil. Demikian pula untuk sebuah peta pengukuran hak milik.
17-25. Mengapa pada kebanyakan lembar peta, judul biasanya ditempatkan di pojok kanan bawah, dan panah meridian di atas atau di sebelah kanan?
17-26. Sebutkan nama atau nama-nama lain untuk "Legenda" pada sebuah peta.
17-27. Mengapa gambar-gambar tempel ditempatkan pada peta?
17-28. Tuliskan tiga syarat utama panah meridian yang baik pada sebuah peta ukur.
17-29. Hal-hal tambahan apakah yang mungkin bermanfaat dalam judul peta pada Gambar 17-9?
17-30. Tuliskan keuntungan-keuntungan sistem pemetaan dengan komputer, dan sebuah kerugiannya.
17-31. Apakah arti Spk., Stk., Tel., dan W.L. pada sebuah peta pengukuran?
17-32. Adakah perbedaan antara peta (map) dan peta ikhtisar (chart)? Antara peta dan foto udara?
17-33. Jelaskan dua persyaratan pemetaan di mana mungkin lebih baik memiringkan panah meridian terhadap tepi peta, dan satu kasus di mana panah itu harus sejajar.
17-34. Tuliskan hal-hal penting yang biasanya ditulis dengan huruf-huruf besar dan yang dengan huruf kecil pada sebuah (a) peta topografik dan (b) peta pengkaplingan hak milik yang berbatasan dengan sungai atau telaga.
17-35. Untuk pengukuran dan peta pelajar serupa Gambar 17-7, seberapa dekat kecocokan yang Anda harapkan pada luas poligon yang dihitung dan diukur dengan planimeter?
17-36. Samakah undang-undang hak cipta untuk peta dan untuk buku-buku teks?

DAFTAR PUSTAKA

Catatan-catatan Singkat. 1981. "Laser Menambah Kemantapan pada Pembuatan Peta." *ACSM Bulletin* 74 : 74.

Dix, W., 1981. "Pembuat Peta Beralih ke 'Pendigitisasian'" *ACSM Bulletin* 72 : 43.

Greulich, G. 1982. "Patokan-patokan Metrik dalam Pengkaplingan dan Zoning." *Surveying and Mapping* 42(no. 3): 257.

Hebrank, A.J. 1981. "Penggambaran Tindih untuk Juru-Ukur" *Surveying and Mapping* 41(no. 2): 151.

Iler, W.H. 1981. "Pemakaian Pemetaan Komputer dalam Perencanaan dan Pengelolaan Pekerjaan Umum: Kasus Chicago." *The American Cartographer* 8 : 115.

Jacober, R.P., Jr. 1980. "Isi dan Simbul-simbul Peta: Bab V Usulan Buku Pegangan tentang Pemakaian, Skala dan Ketelitian Peta untuk Tujuan-tujuan Rekayasa dan yang Berkaitan." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 106(no. SU1) : 41.

———. 1981. "Pembakuan untuk Simbologi Peta-peta Skala Rekayasa." *ASCE Journal o fhe Surveying and Mapping Division* 107(no. SU 1):21.

McKelvey, V.E. 1977. "Pernyataan USGS tentang Persiapan Peta Dasar untuk Program Pemetaan Nasional." *ACSM Bulletin* 58 : 23.

Monteith, W.J. 1970. "Penyusunan Peta Ikhtisar – Lapangan dan Kantor." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 96(no. SU2): 157.

Penggambar Topo Cepat. 1982. "Pengumuman Pabrik." *Point of Beginning,* Desember – Januari, halaman 62.

Robinson, A.H., R.D. Sale, dan J.L. Morrison. 1978. *Unsur-unsur Kartografi,* edisi ke-4,New York: Wiley.

Sloane, R.C. dan J.M. Montz. 1943. *Unsur-unsur Penggambaran Topografik.* New York: MacGraw-Hill.

Thompson, M.M. 1972. "Ciri-ciri Air pada Peta-peta Topografik." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 98(no. SU1): 1.

Urban, L.J. 1978. "Selayang Pandang Peta, Pemakaian dan Kepentingannya." *Proceedings of the Fall Meeting of the American Congress on Surveying and Mapping,* halaman 400.

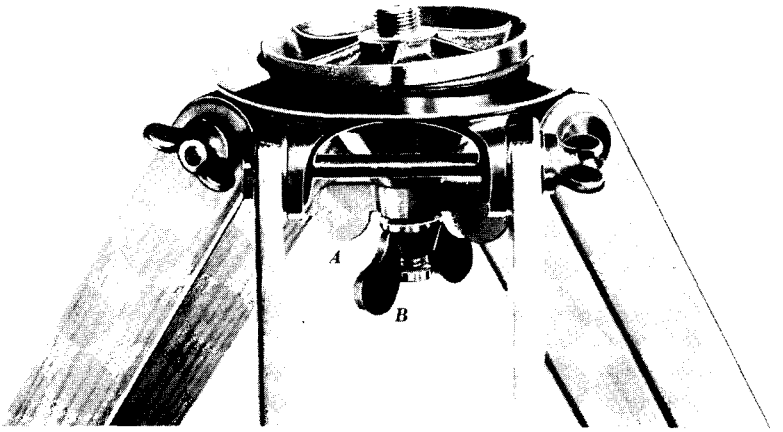
U.S. Geological Survey. 1977. "Pernyataan tentang Persiapan Peta-peta Dasar Metrik untuk Program Pemetaan Nasional." *American Congress of Surveying and Mapping Bulletin* 58 : 23.

18 PLANSET

18-1. PENGANTAR. Planset adalah salah satu instrumen pengukuran yang paling tua, sekarang dipakai lebih banyak di luar negeri daripada di Amerika Serikat. Dalam bentuknya yang sekarang, satu rangkaian planset terdiri atas sebuah kaki-tiga, sebuah papan gambar yang terikat pada kaki tiga, sebuah alidade dengan benang-benang takimetri, sebuah rambu takimetri, dan pita ukur. Sehelai kertas gambar, Mylar, atau material lain diletakkan di papan gambar dan sebuah peta dibuat di lapangan dengan menggambar arah-arah dan jarak–jarak yang diperoleh dengan bidikan alidade.

Memetakan ciri-ciri topografik sewaktu dalam keadaan terlihat langsung, memberi keuntungan dalam banyak jenis pengukuran pada rekayasa sipil dan pertambangan, kehutanan, geologis, pertanian, arkeologi, dan operasi-operasi militer. Ahli geologi hampir selalu memakai kompas Brunton dan planset dalam survei mereka. Sebuah papan kecil, kaki-tiga ringan, dan alidade bidik-incar, bersama-sama dikenal sebagai *meja poligon,* telah menjadi peralatan baku dalam pemetaan militer. Mejanya (papan gambar) didatarkan dan diorientasikan dengan gerakan kaki-kaki tiga.

Fotogrametri sekarang merupakan metode utama yang dipakai untuk proyek-proyek pemetaan yang besar, tetapi planset masih dipakai untuk berbagai pengukuran klasifikasi dan pelengkap. Adalah tidak mungkin untuk menyadap *segala sesuatu* yang pantas dipetakan dari foto-foto. Karenanya akan selalu diperlukan pengukuran-pengukuran tambahan di tanah, walaupun barangkali disebut pengukuran "kebenaran-tanah" atau sesuatu yang lain. U.S. Geological Survey telah menunjukkan bahwa tak ada pengganti sebenarnya untuk alidade dan planset dalam pengukuran bidang-bidang kecil dengan skala-skala besar.



Gambar 18-1. Kepala kaki-tiga jenis Johnson.

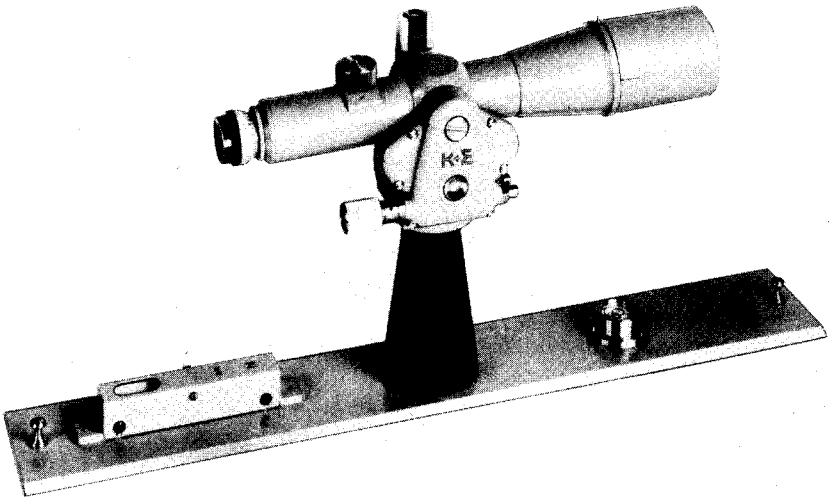
18-2. GAMBARAN PLANSET. Papan gambar sebuah planset (biasanya 24 × 31 in) dibuat dengan cermat agar tidak meliuk dan kerusakan lain karena keharian. Bidang atasnya halus tetapi mempunyai beberapa alat seperti sekrup-sekrup perunggu untuk melekatkan lembar peta ke atas papan. Di tengah bagian bawah papan mempunyai ulir yang tepat dengan kepala kaki-tiga yang terikat pada kaki tiga.

Untuk mendatarkan dan mengorientasikan papan, tersedia dua jenis kepala kaki-tiga yang sangat berbeda yaitu jenis *Coast and Geodetic Survey* dan *kepala kaki-tiga Johnson.* Jenis Coast and Geodetic Survey mempunyai empat sekrup penyetel, sebuah pengunci, dan sebuah sekrup penggerak halus seperti pada transit. Pendataran dan orientasi diselesaikan dengan mudah. Kepala kaki-tiga jenis Johnson (Gambar 18-1) mempunyai susunan sendi peluru untuk menahan papan gambar dalam kedudukannya setelah pendataran dan mencegah putaran arah horisontal. Pengunci *A* mengatur gerakan meja sewaktu bergerak pada sendi peluru yang lebih besar. Setelah mendatarkan papan dengan menekan atau mengangkat pada satu tepi, pengunci diketatkan. Pengunci bawah *B* mengendalikan gerakan papan mengelilingi sumbu satu dan dikunci setelah orientasi.

Menjaga agar meja tetap datar adalah bagian paling sulit dalam bekerja dengan planset bagi para pemula. Bahkan tekanan sedikit saja di tepi papan sudah merupakan sebuah momen putar yang kuat pada bidang dukung kepala kaki tiga yang nisbi kecil.

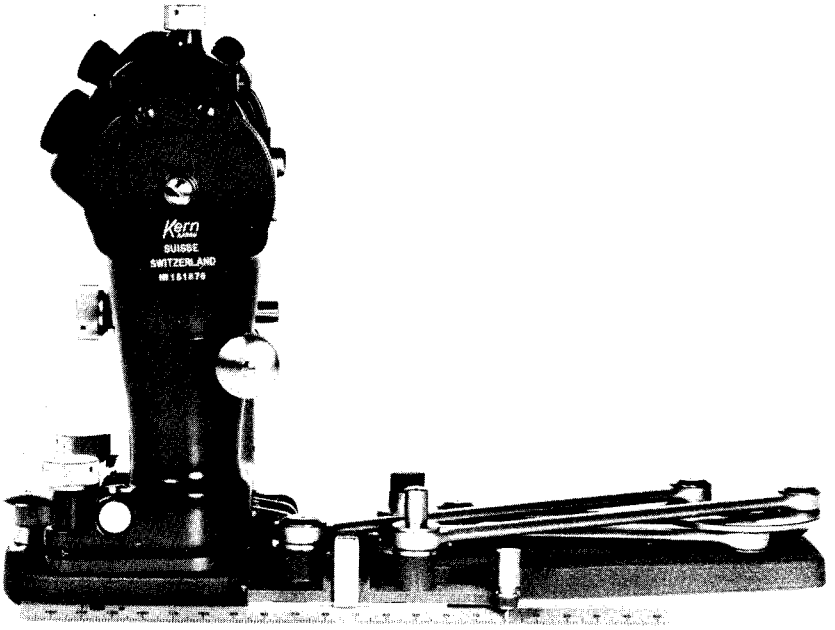
Alidade-alidade model lama (Gambar 18-2) terdiri atas sebuah teropong didukung oleh sebuah tiang terikat mati pada sebuah basis atau bilah yang panjangnya pada beberapa instrumen sampai 18 in. Teropongnya, mirip pada transit, dilengkapi dengan sebuah benang silang vertikal, dan tiga benang silang horisontal. Tersedia pula tabung nivo yang peka, nivo kotak, busur vertikal dan/atau busur Beaman, jarum kompas, dan tombol-tombol pengangkat. Teropong dapat dipusatkan di atas lempengan atau menyimpang dari padanya agar garis bidik dapat ditempatkan sepanjang tepi bilah.

Alat-alat tambahan yang dipakai dengan planset adalah mistar skala, kompas, kaca pembesar, mistar kurve, karet penghapus, busur derajat, deklinator, pita tempel, dan kalkulator tangan. *Deklinator* adalah sebuah lempeng kuningan yang di atasnya terdapat kotak kompas dan sebuah atau dua buah tabung nivo. Dua tepi lempeng sejajar dengan garis utara-selatan lingkaran kompas. Deklinator dipakai karena tak adanya kompas pada bilah, untuk menentukan sudut-sudut arah dan mengorientasikan alidade dengan menempatkan sebuah sisinya menempel dasar.



Gambar 18-2. Alidade swa-tunjuk. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company.)

Gambar 18-3. Alidade swa-reduksi. (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.)



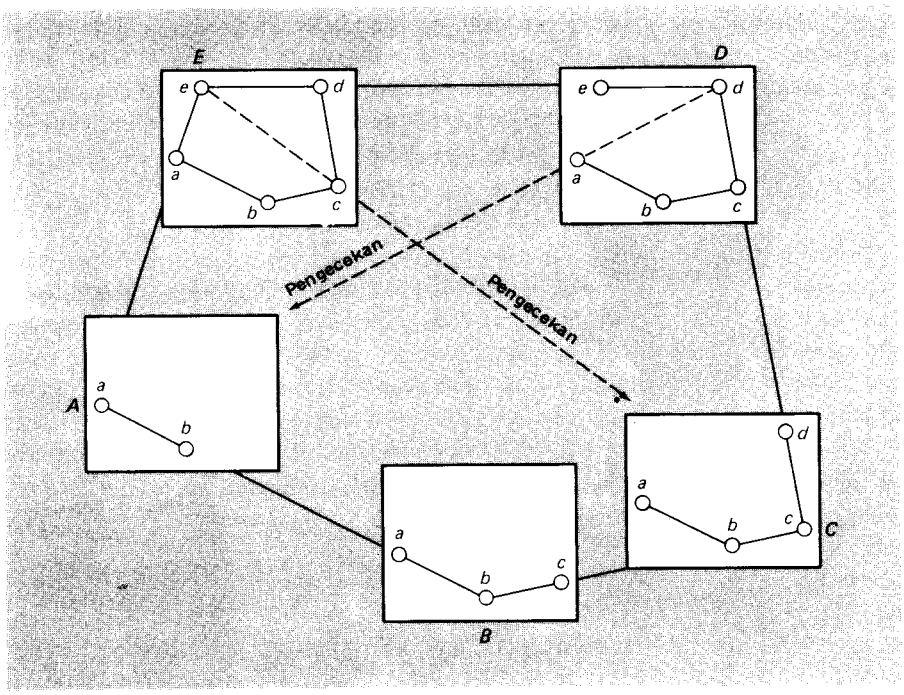
Alidade rancangan Eropa, terlihat pada Gambar 18.3, adalah sebuah instrumen jarak optis swa-reduksi dan mempunyai sebuah alat penggambar mistar-sejajar. Beberapa di antaranya mempunyai ciri-ciri sama dengan teodolit-teodolit tertentu – mikroskop untuk pembacaan lingkaran gelas tertutup, swa-penunjukan, dan perbaikan-perbaikan lainnya. Juga tersedia alidade elektronik.

18-3. PEMAKAIAN PLANSET. Planset paling cocok untuk pengukuran poligon dan pengambilan topografi. Alat ini jarang dipakai pada pengukuran batas atau jalur lintas tetapi sering dipakai untuk menambah detail-detail pada peta-peta yang dibuat dengan pengukuran-pengukuran teodolit, EDM, atau fotogrametrik.

Dengan selembar kertas yang sesuai terlekat kokoh pada papan gambar, planset dipasang di atas sembarang titik misalnya *A* pada Gambar 18-4 dan didatarkan. Tepi tipis bilah alidade kemudian ditempatkan pada titik yang bersangkutan *a* pada lembaran kertas. Titik ini dapat dipilih dalam kedudukan yang mudah pada papan gambar, bila belum digambar sebelumnya. Jurusan ke sebuah titik *B* dipasang dengan jalan membidik lewat teropong untuk meluruskannya dan kemudian penarikan garis sepanjang tepi tipis. Jarak optis dan sudut vertikal dibaca dan direduksi dengan segera, sehingga *b* dapat ditentukan lokasinya dengan memakai skala jarak horisontal pada garis *ab*. Selisih elevasi yang dihitung dari pembacaan optis diterapkan pada elevasi *A* (menganggap pembacaan pada t.i.) untuk menemukan elevasi (*B*). Nilai ini dicatat di sebelah titik yang digambar untuk acuan yang siap.

Galat-galat penutup maksimum yang ditentukan baik untuk titik-titik kontrol horisontal maupun vertikal harus ditetapkan sebelum pekerjaan lapangan. Pada pekerjaan saksama, titik kontrol horisontal dalam bentuk stasiun-stasiun triangulasi, trilaterasi atau poligon, dan titik kontrol vertikal yang dinyatakan oleh titik tetap duga yang tertebar di seluruh

Gambar 18-4. Pengukuran poligon dengan planset.



wilayah yang dipetakan, harus digambar dengan cermat lebih dulu di kertas sebelum pemetaan lapangan. Pembacaan optis direduksi dan digambar segera setelah diambil, karena tidak ada catatan-catatan. *Pembuatan sketsa dan interpolasi garis tinggi harus dikerjakan bersama dengan penggambaran, sementara lokasi di tanah semua titik yang dipetakan masih segar dalam ingatan pengamat.*

Kertas untuk planset harus tahan basah dan tahan perubahan suhu karena mungkin dipakai di lapangan untuk waktu lama. Untuk menghindari kekaburan, perlu dipakai pensil yang keras, 6-H atau 8-H. Papan gambar dapat ditutup dengan material tahan air untuk melindungi gambar. Sebuah "jendela" kecil dapat dibuat pada wilayah yang sedang dikerjakan. Lembar Mylar sering dipakai pula, di mana dapat digores dengan jarum.

18-4. MEMASANG DAN MENGORIENTASIKAN PLANSET. Setelah papan disekrupkan pada kepala kaki tiga dan kertas dilekatkan, kaki tiga dipasang dengan titik yang digambar di atas patok yang bersangkutan di tanah. Biasanya hubungan ini dikira dengan mata untuk peta-peta skala kecil. Jika diperlukan ketelitian lebih tinggi, dipakai bandul unting-unting atau dengan menjatuhkan kerikil dari bagian bawah papan untuk mengecek kedudukan. Meja harus didatarkan dengan cermat dengan memakai sekrup-sekrup penyetel (atau dengan gerakan sendi peluru pada kepala jenis Johnson).

Untuk memudahkan dalam penggambaran dan mencegah penekanan meja yang akan mengganggu nivo, papan harus ditempatkan pada tinggi kira-kira 1 in lebih rendah daripada siku-siku pengamat bila berdiri pada kedudukan enak.

Meja dapat diorientasikan dengan (1) kompas, (2) bidikan belakang atau (3) pemotongan ke belakang.

1. Untuk mengorientasikan dengan kompas, alidade diletakkan di atas kertas pada arah dianggap paling cocok letaknya untuk garis utara-selatan, dan papan diputar sehingga kompas di atas bilah atau deklinator menempel mistar, terbaca utara. Kemudian papan dikuncikan dan sebuah garis digambar sepanjang tepi bilah untuk acuan lebih lanjut.

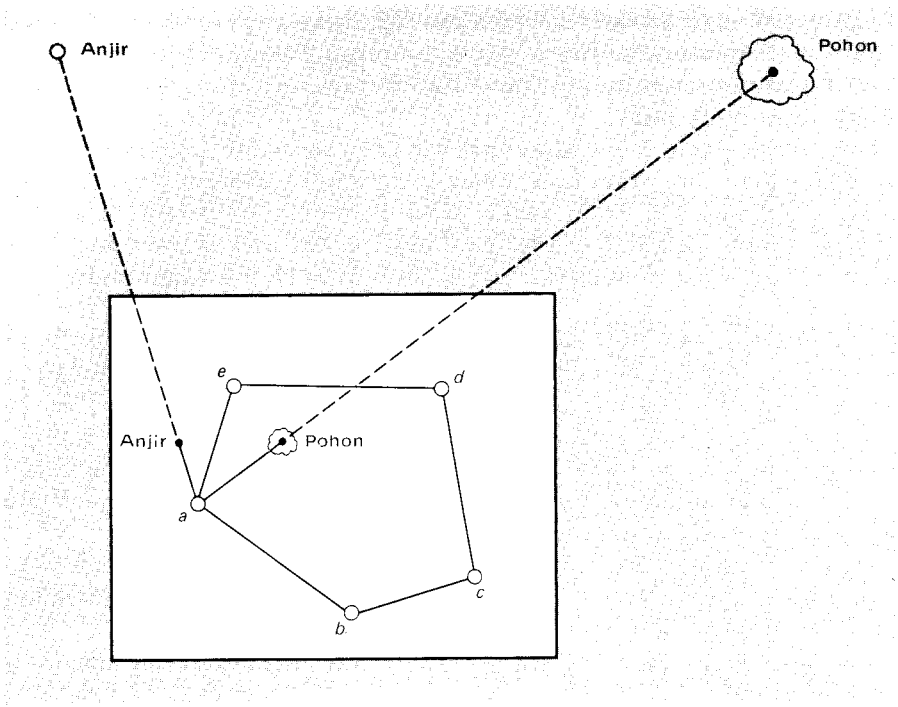
Jika sebuah garis AB dengan sudut arah diketahui – misalkan, S28°30′T – telah digambar, alidade ditempatkan sepanjang AB, meja diputar sehingga kompas terbaca S28°30′T dan kemudian dikunci. Orientasi dengan kompas tidak dianjurkan jika bidikan belakang atau cara pemotongan ke belakang dapat dilaksanakan dengan mudah.

2. Metode bidikan ke belakang paling biasa dipakai dalam pengukuran poligon, walaupun pada mulanya meja mungkin diorientasikan dengan kompas untuk memperoleh utara di bagian atas atau kiri lembar kertas. Setelah sebuah garis AB digambar dengan bidikan belakang dari sebuah pemasangan di A ke titik B, meja dipindah ke titik B, diatur kedudukannya dan didatarkan. Dengan bilah alidade sepanjang BA, meja diputar agar terarah titik A dan meja dikunci. Arah-arah bidikan lain diambil dengan meja dalam posisi ini akan dengan sendirinya berdasar pada acuan yang sama atau meridian yang sama seperti AB.

3. Pemotongan ke belakang dibicarakan dalam Paragraf 18-8.

Setelah meja diorientasikan dengan sembarang di antara tiga metode itu, titik-titik jauh yang menonjol harus dibidik dan garis-garis pendek digambar dekat tepi kertas pada arahnya. Dengan jarak-jarak tertentu alidade dapat diletakkan pada stasiun-stasiun yang diduduki dan kemudian sepanjang garis-garis ini untuk mengecek orientasinya. Mengamati *bidikan belakang permanen* semacam ini untuk menghemat waktu berjalan rambu. Istilah *eksentrisitas berdayaguna* dipakai untuk menjelaskan pengaruh-pengaruh gabungan rambu maupun planset yang meleset dari titik-titik di tanah yang bersangkutan.

18-5. POLIGON. Untuk melaksanakan poligon, planset dipasang pada titik awal ukur A, didatarkan dan dikunci. Titik a di kertas gambar (lihat Gambar 18-4) ditandai untuk me-



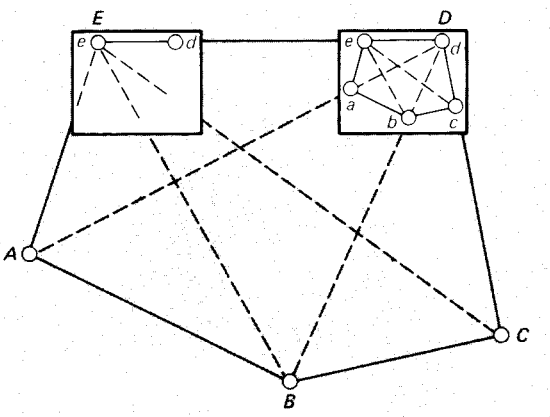
Gambar 18-5. Metode radiasi dengan planset untuk menentukan lokasi detail-detail.

nyatakan titik ini. Dengan tepi mistar di *a* dan alidade dibidikkan pada *B*, garis *ab* digambar. Jarak *AB* dapat ditentukan dengan pita atau optis dan panjangnya digambar dengan skala peta untuk menentukan *b*. Perlu sekali bahwa titik pertama ini digambar dengan akurat, karena titik ini berlaku sebagai garis basis untuk semua pengukuran lain.

Sekarang planset dapat dipindah ke titik *B*, dipasang dan didatarkan. Orientasinya dikerjakan dengan menempatkan tepi bilah pada garis *ba* dan memutar papan keliling sumbu vertikal sehingga alidade membidik titik *A*. Jarak *BA* diukur dan purata *AB* dan *BA* dipakai untuk mengukurkan *ab*. Patok berikutnya yaitu *C* diamati dengan bilah menyentuh *b*, jarak *BC* dibaca, dan panjang *bc* digambar. Dengan cara sama, titik-titik berikutnya dapat diduduki dan garis-garis poligon digambar. Kapanpun mungkin, bidikan pengecekan harus dilaksanakan pada patok-patok yang diduduki sebelumnya. Selisih-selisih kecil diratakan, tetapi bila titik yang digambar meleset dengan jarak cukup besar, beberapa atau seluruh pengukuran harus diulang.

Detail-detail dapat ditentukan letaknya sewaktu poligon sedang dilaksanakan, atau kemudian. Tetapi lebih baik menutup dan meratakan poligon sebelum pengambilan topografi, karena seluruh pekerjaan penggambaran yang selesai pada sebuah stasiun yang salah penentuan lokasinya adalah sia-sia. Dua metode dipakai untuk memperoleh detail-detail yaitu radiasi (memancar) dan pemotongan ke depan.

18-6. METODE MEMANCAR. Dengan meja yang diorientasikan pada suatu stasiun poligon, garis-garis memancar dapat ditarik ke titik-titik yang lokasinya dikehendaki, seperti ditunjukkan pada Gambar 18-5. Pada umumnya jarak-jarak diukur secara optis atau dengan EDMI tetapi pita perca sudah cukup untuk bidikan-bidikan pendek. Garis-garis memancar, atau *sinar*, digambar sepanjang tepi bilah dan jarak digambar untuk menentukan lokasi titik-titik.



Gambar 18-6. Pemotongan ke depan dengan planset.

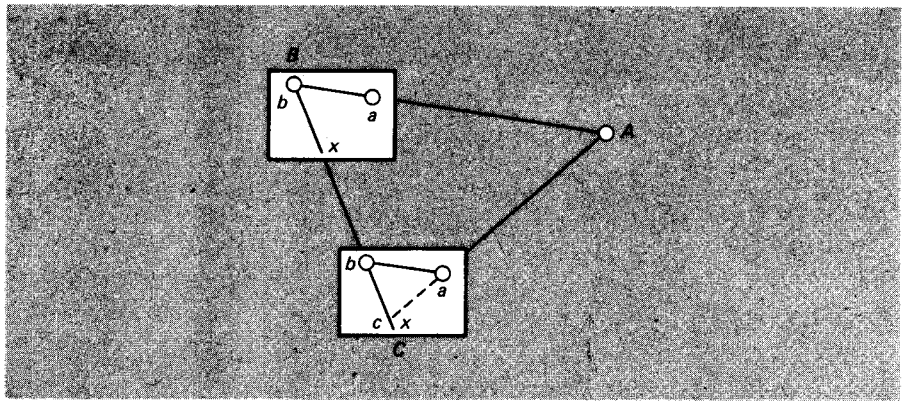
18-7. PEMOTONGAN KE DEPAN, ATAU METODE TRIANGULASI GRAFIS. Dalam metode pemotongan ke depan, ditunjukkan pada Gambar 18-6, sinar-sinar yang belum tertentu panjangnya digambar ke arah titik yang sama dari paling sedikit dua pemasangan planset. Perpotongan sinar-sinar menentukan letak titik yang dikehendaki. Sebuah garis yang diukur berlaku untuk menetapkan skala; tak ada jarak lain diperlukan.

Prosedur ini kadang-kadang disebut dengan istilah *triangulasi grafis*, yang sesuai dengan triangulasi memakai perpotongan transit. *Metode ini khususnya penting dalam menentukan lokasi titik-titik yang tak dapat dicapai dan jauh.* Dalam praktek lapangan yang sebenarnya, baik memancar atau pemotongan ke depan dapat dipakai bersamaan pada satu pemasangan. Tetapi kebanyakan bidikan diambil dengan memancar.

Elevasi titik pemotongan ke depan tak tercapai yang ditentukan lokasinya dengan pemotongan ke depan, dapat ditemukan dengan membaca sudut vertikal, memakai skala peta untuk jarak ke titik dan menghitungnya dengan rumus trigonometrik.

18-8. PEMOTONGAN KE BELAKANG (RESECTION). Pemotongan ke belakang adalah sebuah metode orientasi yang dipakai bila planset menempati kedudukan yang belum ditentukan lokasinya pada peta. Akan dibicarakan pemecahan untuk dua keadaan lapangan. Pada cara pertama disebut *masalah dua-titik*, panjang sebuah garis diketahui. Pada cara kedua, *masalah tiga-titik*, lokasi-lokasi tiga-titik tertentu harus diketahui.

18-8.1. MASALAH DUA-TITIK. Pada Gambar 18-7, *ab* merupakan panjang garis *AB* yang diketahui di tanah. Dengan planset dipasang dan diorientasikan di *B* dengan bidikan ke *A*, ditarik garis yang belum tertentu panjangnya *bx* ke arah *C*. Jarak *bc* tidak diukur, karena pengamat mungkin ingin mempunyai pertimbangan yang paling menguntungkan untuk kedudukan titik *c*, atau mungkin ingin agar petugas rambu tetap di titik *A*. Planset dipindahkan ke patok *C* (sembarang titik pada garis *bx*), diorientasikan dengan bidikan belakang sepanjang *xb*, dan dikunci. Bilah alidade dipasang di *a* dan diputar mengelilingi titik ini sehingga titik yang bersangkutan yaitu *A* terbidik. Garis yang ditarik sepanjang mistar dari titik *a* untuk memotong garis *bx* menghasilkan lokasi *c* yaitu titik yang diduduki. Garis *ac* disebut garis pemotongan ke belakang.



Gambar 18-7. Persoalan dua-titik.

18-8.2. MASALAH TIGA-TITIK. Metode tiga-titik untuk penentuan lokasi mempunyai banyak penggunaan. Metode ini memungkinkan pengamat memasang planset di sembarang titik yang disukai untuk pengambilan detail-detail dan kemudian menentukan lokasinya di peta dengan bidikan ke tiga titik tergambar, misalnya menara gereja, menara air, tiang bendera, tiang antena radio, pohon-pohon tunggal, tonjolan batu karang, atau obyek-obyek menonjol. Metode tiga-titik telah lama dipakai dalam navigasi untuk menentukan kedudukan kapal dengan pengamatan memakai *sextan* pada tiga ciri pantai yang dapat dikenal pada peta ikhtisar pantai.

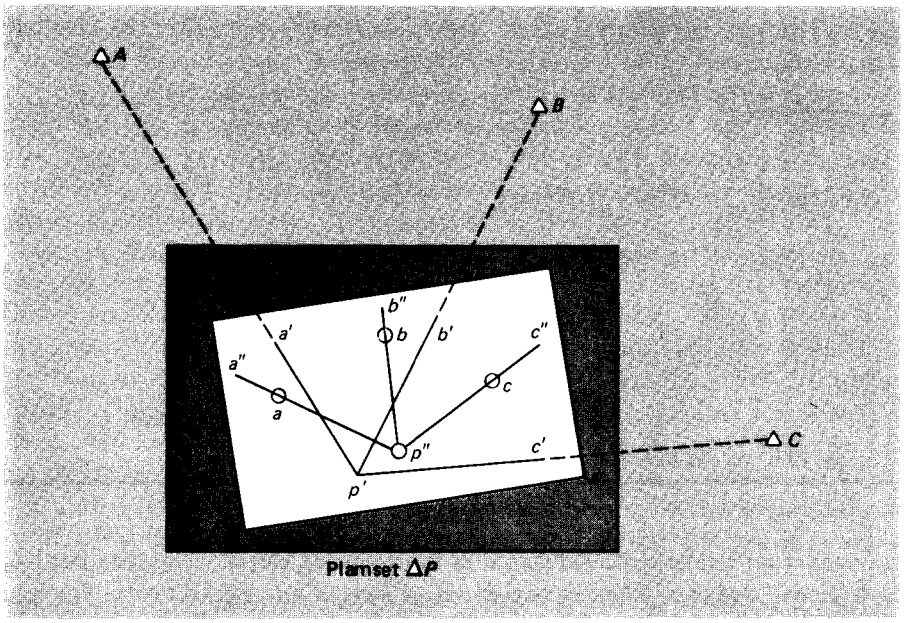
Persoalan tiga-titik sering dibicarakan dalam literatur teknis. Telah disusun penyelesaian-penyelesaian trigonometrik, mekanis, dan grafik. Yang akan dibicarakan di sini hanya penyelesaian kertas-tembus-sinar dan busur derajat-tiga-lengan.

Jika planset berada pada sebuah *lingkaran besar* (lingkaran luar) melalui ketiga titik yang diketahui, maka lokasinya tidak tertentu. Sebuah penyelesaian yang mantap dihasilkan bila (a) planset cukup jauh di dalam segitiga besar yang terbentuk oleh ketiga titik (*A*, *B* dan *C* pada Gambar 18-8), atau (b) planset *tidak* dekat lingkaran besar yang melalui ketiga titik tersebut.

Metode Kertas-Tembus-Sinar. Sehelai kertas tembus sinar dilekatkan ke planset seperti pada Gambar 18-8. Dari sembarang titik p' pada lembar kertas, tiga garis memancang $p'a'$, $p'b'$, dan $p'c'$ digambar ke arah tanda-tanda *A*, *B* dan *C* yang dibidik lewat alidade. Kertas kemudian digerakkan sehingga ketiga garis memancar melewati titik *a*, *b* dan *c* yang bersangkutan yang sebelumnya telah digambar di peta. Puncak garis-garis ini yaitu p'' adalah lokasi planset yang benar. Titik ini diberi tanda dan papan diputar sehingga garis-garis memancar ke arah tanda-tanda *A*, *B* dan *C* di tanah. Papan gambar kemudian dikunci.

Metode Busur-Derajat-Tiga-Lengan. Penyelesaian yang sama dapat diperoleh secara mekanis dengan sebuah alat yang disebut busur derajat tiga-lengan. Instrumen ini mempunyai sebuah pusat (kurang lebih seperti pada mesin gambar) dengan dua lengan putar mengelilinginya. Sudut yang dikehendaki antara masing-masing lengan putar dengan lengan tetap dipasang oleh sebuah nonius pada sebuah lingkaran berpembagian skala 360°.

Sudut-sudut $Ap'B$ dan $Bp'C$ pada Gambar 18-8 dibaca dengan sextan, transit, atau teodolit. Lengan-lengan busur derajat dikuncikan pada sudut-sudut ini dan kemudian di-



Gambar 18-8. Pemotongan ke belakang metode kertas tembus.

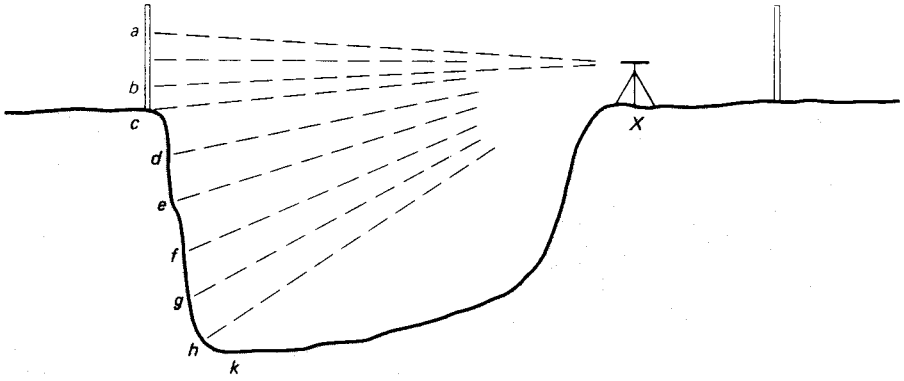
buat agar melalui ketiga titik tergambar *a, b* dan *c* dengan cara coba-coba. Busur derajat tiga-lengan jarang dipakai pada pekerjaan planset tetapi merupakan peralatan berharga pada pengukuran hidrografik dan navigasi pantai.

Metode Lehmann. Pemecahan cara lain dengan coba-coba pada Persoalan tiga-titik dengan metode Lehmann dipakai secara luas oleh U.S. Geological Survey bila planset merupakan peralatan dasar untuk penyiapan peta-peta topografik yang luas. Terbitan-terbitan kelima dan sebelumnya dari buku teks ini menjelaskan metode itu dengan terperinci.

18-9. SIPAT DATAR. Elevasi-elevasi diperoleh dengan memakai alidade sebagai alat sipat datar, atau dengan membaca sudut vertikal dan jarak miring, dan melaksanakan reduksi optis. Setelah mendatarkan alidade dengan cermat, diambil bidikan pada sebuah rambu yang dipegang pada sebuah titik tetap duga untuk memperoleh TI. Atau TI dapat diperoleh dengan menambahkan t.i. (diperoleh dengan mendirikan rambu di samping planset dan mengukur tinggi teropong di atas titik yang diduduki) pada elevasi titik itu. Dengan diketahuinya TI, pembacaan rambu diambil seperti pengukuran jarak optis biasa atau sipat datar untuk menentukan elevasi titik-titik lain.

Sipat datar trigonometrik biasa dipakai bila dijumpai selisih-selisih elevasi yang besar. Metode ini memerlukan pengukuran sudut-sudut vertikal dan jarak-jarak optis dengan mana selisih elevasi dihitung. Sebuah busur Beaman pada alidade mempermudah hitungan-hitungan, tetapi dapat dipakai pula diagram reduksi optis, tabel jarak optis, atau kalkulator tangan.

Untuk beberapa tujuan, *metode loncatan* telah cukup untuk memperoleh elevasi dan pada tanah berbukit, metode ini menghemat waktu dan tenaga seorang petugas rambu. Pada Gambar 18-9, anggaplah elevasi titik *k* di dasar jurang diinginkan pada sebuah pengukuran dengan dua petugas rambu, masing-masing pada tiap tepi jurang. Setelah perpotongan rambu *ab* diperoleh dengan benang jarak optis (misalkan 5,2 ft), maka benang atas dite-



Gambar 18-9. Metode loncatan.

patkan pada dasar rambu *c*. Kedudukan *d* di mana benang bawah memotong tanah ditandai, dan benang atas digerakkan ke bawah hingga melalui titik yang ditandai. Proses ini diteruskan sehingga titik *h* diperoleh dan sisa beda tinggi terhadap *k* ditaksir 2 ft. Selisih elevasi antara *c* dan *k* sekarang adalah 5(5,2) + 2 = 28 ft.

Versi lain metode loncatan berdasarkan kenyataan bahwa garis bidik melalui benang atas (atas bawah) mempunyai kemiringan $\frac{1}{2}\%$ terhadap garis bidik lewat benang tengah.

Selisih elevasi biasanya dihitung di lapangan dan digambar pada peta planset. Petugas topografi dapat menghitung (jika tak sedang dipakai takimeter swa-reduksi) maupun menggambar, atau seorang anggota regu dapat mengerjakan reduksinya. Garis-garis tinggi ditarik melalui titik-titik yang ditetapkan dengan metode langsung, atau diinterpolasi bila perubahan lereng telah diambil. Elevasi titik ditunjukkan pada silang tanjakan, puncak dan lekukan yang tidak tepat pada letak garis tinggi, dan semua titik kritis yang lain.

Banyaknya titik yang diambil hanya perlu 50 sampai 60% dari seluruh titik pada pengukuran transit optis yang sebanding untuk menentukan lokasi garis-garis tinggi dengan tingkat ketelitian yang sama. Lebih lanjut, ciri-ciri yang ditunjukkan pada peta dapat dibandingkan dengan lapangan sewaktu pekerjaan berlangsung, dan kekurangan yang terjadi dapat ditemukan dengan segera.

Salah satu kesulitan terbesar yang timbul dalam pemakaian planset adalah menjaga agar tetap datar. Menekan sebuah pojok bidang papan gambar adalah jalan praktis untuk menyeimbangkan nivo dan menyelesaikan beberapa bidikan dengan kepala model Johnson. Prosedur ini menghindari dikendorkannya sendi peluru, yang biasanya mengganggu orientasi.

18-10. PEMAKAIAN PLANSET DALAM PEKERJAAN KONSTRUKSI. Sebuah pendekatan baru memakai planset dan model-model garis tinggi untuk perancangan konstruksi pekerjaan tanah dan pembangunan jalan. Dalam pengertian ini, model garis tinggi tak lain artinya adalah rencana letak konstruksi bergaris tinggi yang digambar pada kertas planset konvensional atau medium lain yang stabil dimensinya, dengan skala dan interval garis tinggi yang sesuai, sebagai bentuk lain daripada model arsitektural tiga-dimensi. Model garis tinggi harus digambar dengan teliti agar menepati ukuran geometris tepat gambar kontrak. Galat maksimum yang dibolehkan pada semua kedudukan horisontal dan vertikal ditentukan oleh spesifikasi proyek menghasilkan skala horisontal dan interval garis tinggi modelnya.

Teknik yang dijelaskan berdasar pada konsepsi bahwa bila sebagian permukaan bumi dapat dipetakan dengan metode-metode planset, maka proses dapat dibalik. Oleh karena itu, peralatan yang sama dapat dipakai untuk perancangan asal tersedia model letak yang sesuai. Seperti biasa pada keadaan perancangan, perlu titik kontrol horisontal dan vertikal.

Dalam praktek, planset dipasang dan diorientasikan dengan cara yang biasa pada lokasi yang memudahkan untuk keperluan perancangan. Seperti pada sembarang prosedur pengukuran, korelasi yang teliti antara ciri di tanah yang akan dibangun dan sistem pengukuran titik kontrol adalah penting sekali.

Pemegang planset memilih titik pemasangan, misalnya di kaki lereng, puncak galian, perpotongan dua lereng pada sebuah lereng atau garis punggung, permukaan lengkung di bawah tumpuan jembatan, selokan dan sebagainya. Jarak-jarak dari stasiun pemasangan ke titik-titik yang dipilih diskala dengan cermat dari model dan dicatat dalam formulir catatan.sBilah alidade ditempatkan di samping tanda stasiun pemasangan yang telah tergambar dan diarahkan pada arah titik yang dipilih. Petugas rambu diperintahkan berada pada garisnya; jarak optis ke titik coba pada garis, dibaca; kemudian petugas rambu dipimpin dengan tengara tangan maju atau mundur ke titik yang dipilih (instrumen cara pelacakan akan berguna di sini). Bila lokasi yang benar telah ditetapkan dengan teliti dan patok dipasang, elevasi dihitung dan dicatat. Galian atau timbunan diberi huruf pada patoknya untuk dipakai oleh pemborong.

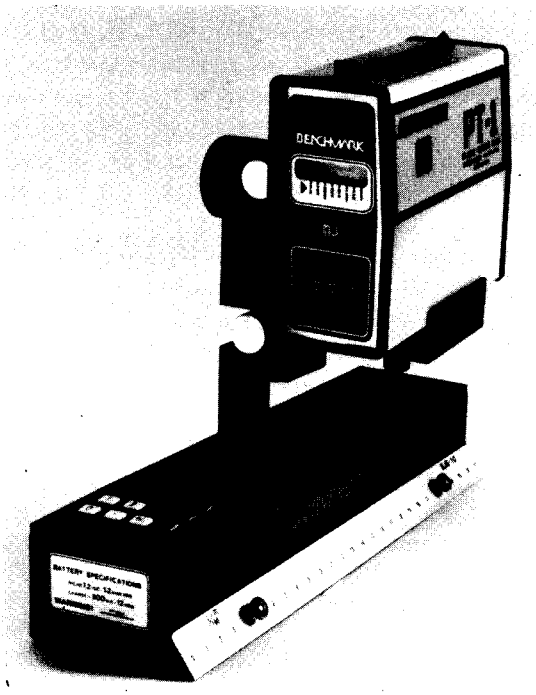
Beberapa keuntungan sistem ini adalah:

1. Ukuran-ukuran gambar yang tergambar dalam kontrak dicek dan diteliti adanya kondisi taknormal.
2. Proses pemasangan patok pancang itu cepat dan hanya memerlukan dua orang.
3. Pemegang planset dapat melihat sasaran tanpa visualisasi niskala (abstract).
4. Prosedur dapat dipakai tanpa terganggu keadaan lalu lintas dan peralatan berat bekerja di sekelilingnya dan di antara awak regu perancangan.
5. Beda elevasi yang sedang yaitu sampai 50 ft, ke atas atau ke bawah, tidak merupakan halangan.
6. Karena hanya titik yang dipilih saja dipasang, maka tak perlu memasang pancang atau mengganti garis sumbu pengukuran proyek atau garis basis.
7. Dalam konfigurasi yang rumit seperti pada lantai miring jalan susun ganda atau penetapan kembali lokasi saluran, lereng dapat dengan mudah dicek sewaktu konstruksi berlangsung, sehingga memungkinkan pemborong punya pilihan untuk membuat koreksi di tengah pekerjaan.
8. Jika sebuah lokasi sering dirusak atau patok-patoknya mudah hilang, dapat dipasang kembali dengan murah.

Sebuah pendorong penting yang meningkatkan pemakaian planset adalah dengan hadirnya EDMI pertama dan terkecil untuk dipasang pada alidade. Surveyor PT-1 dari Benchmark terlihat pada Gambar 18-10 berukuran 2 × 4 × 4 in; beratnya hanya 1,6 lb (sehingga tidak menyebabkan alidade menjadi berat-di-atas); mempunyai sebuah pengindera (sensor) sudut vertikal untuk reduksi lereng secara otomatik; jarak jangkauan 1 km; cara-cara pemacangan, pelacakan dan purata; ketelitian ± (5 mm + 10 ppm); hasil pisahan sudut 16 sekon; hasil pisahan jarak 1 mm; dan pembacaan sampai 7 angka.

18-11. KEBAIKAN DAN KEBURUKAN PLANSET. Beberapa kebaikan planset dibandingkan dengan metode transit-optis adalah:

1. Petanya dibuat sambil melihat wilayahnya.
2. Garis-garis tak teratur, seperti tepi sungai dan garis-garis tinggi, dapat dibuat sketsanya.



Gambar 18-10. Instrumen Ukur Jarak Elektronik Survey PT-1 dipasang pada sebuah alidade. (Atas kebaikan Benchmark Company.)

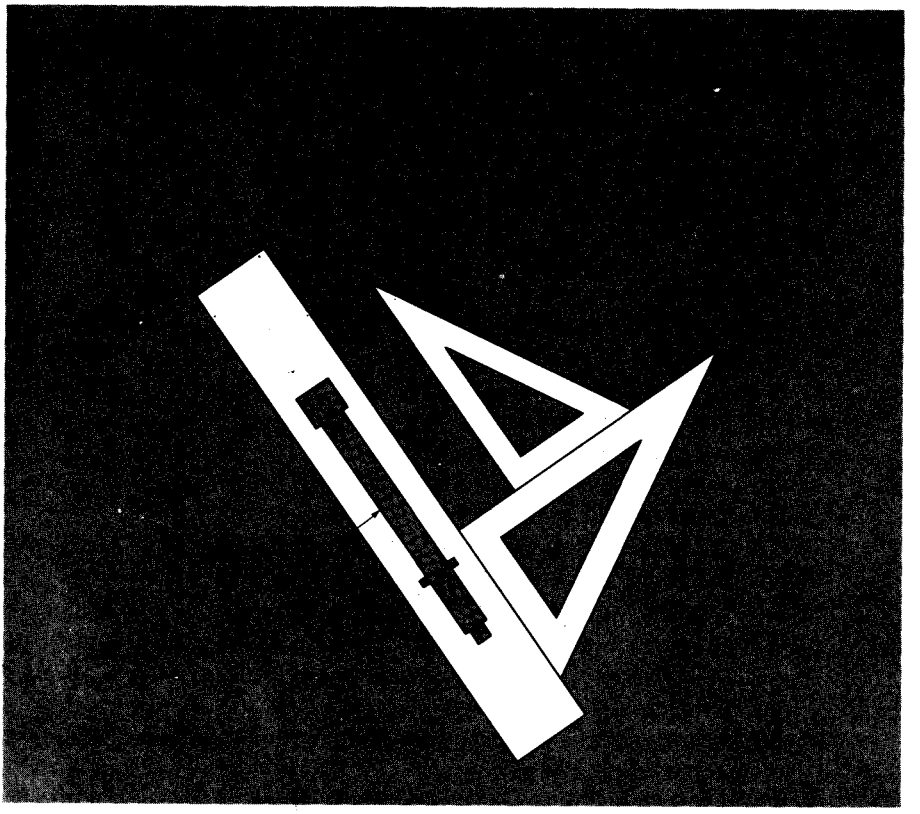
3. Tidak perlu catatan.
4. Diperlukan lebih sedikit titik lokasi untuk kesaksamaan penggambaran garis tinggi yang sama dan pengisian data dapat diatur jaraknya dengan benar di lapangan.
5. Sebuah peta dihasilkan secara keseluruhan dalam waktu lebih singkat (lapangan dan kantor).

Beberapa keburukan planset dibanding dengan metode transit-optis adalah:

1. Perlu waktu lapangan lebih lama.
2. Cuaca buruk dapat menghentikan pekerjaan lapangan.
3. Untuk pekerjaan saksama titik kontrol harus digambar terlebih dulu.
4. Jauh lebih banyak waktu diperlukan agar menjadi mahir memakai planset daripada memakai transit atau teodolit.
5. Planset biasanya dipasang lebih rendah daripada transit, sehingga mengurangi kejelasan bidikan.
6. Planset tidak cocok untuk daerah berhutan lebat.
7. Jarak-jarak harus diskala jika panjangnya diambil dari peta dan luas dihitung.
8. Banyak barang yang merepotkan harus dibawa.

18-12. SARAN-SARAN PRAKTIS. Sebuah masalah yang merepotkan dalam memakai planset adalah menjaga agar bilah alidade selalu pada titik kedudukan ditempati yang telah tergambar, misalnya *P* pada Gambar 18-11. Sewaktu alidade digerakkan untuk membidik detail, tepinya menyimpang dari titik *P*. Pemecahan yang kadang-kadang dicoba adalah dengan menusukkan jarum di *P* dan memutar kelilingnya, tetapi makin lama lubangnya makin besar karena ada beberapa bidikan.

Beberapa alidade, seperti pada Gambar 18-3, mempunyai mistar sejajar menempel ke bilah; ini memberikan pemecahan masalah paling baik. Terbaik kedua adalah dengan menempatkan alidade sejauh atau dua in dari *P*, putar seperlunya untuk pembidikan, kemu-



Gambar 18-11. Pemindahan titik putar.

dian pindahkan garisnya melalui P dengan dua mistar segitiga seperti digambarkan pada Gambar 18-11. Galat kecil yang disebabkan bidikan yang tidak dari titiknya tidak lebih besar daripada galat karena tidak tepatnya pemasangan P di tanah, atau bahkan galat kecil disebabkan oleh sumbu teropong tidak tepat di atas bilah pada kebanyakan alidade.

Saran-saran yang bermanfaat pada pemakaian planset adalah:

1. Pakailah kertas detail berwarna kuning atau hijau untuk mengurangi silau.
2. Gambarlah dan tintailah poligon lebih dulu daripada detail, untuk menyediakan panjang garis poligon, koordinat stasiun triangulasi, dan tanda-tanda berguna yang ada.
3. Sediakan paling sedikit sebuah titik kontrol vertikal untuk setiap tiga patok poligon dan tunjukkan semua elevasi yang diketahui.
4. Bawalah semua alat bantu yang perlu.
5. Tutuplah bagian peta yang tak sedang dipakai.
6. Pasanglah meja sedikit di bawah tinggi siku-siku.
7. Tasdiklah (verify) orientasi pada dua garis atau lebih, bila mungkin.
8. Selisih jarak dan elevasi agar dicek pada kedua arah bila memasang patok baru. Bacalah sudut vertikal dengan teropong pada kedudukan biasa dan luar biasa, bila mungkin. Dalam menggambar, pakailah harga purata.
9. Bacalah jarak dulu, kemudian sudut vertikal; bila memakai busur Beaman bacalah skala H, kemudian skala V.
10. Angkatlah ujung depan bilah alidade untuk memutar dan bukan digeser, agar kertas tetap bersih.

11. Seringkali bersihkanlah bilah untuk menghilangkan serbuk pensil (grafit).
12. Reduksikan jarak optis dengan urutan yang lebih baik ini: takimeter swa-reduksi, busur Beaman, kalkulator tangan, diagram-diagram dan tabel-tabel.
13. Lokasi-lokasi patok agar dicek dengan pemotongan ke belakang dan *sisipan* (bidikan dan penggambaran) titik-titik yang menonjol.
14. Gambarlah garis-garis pendek pada jarak yang ditaksir di peta untuk menggambar titik. *Jangan memulai garis-garis pada patok yang diduduki.*
15. Perhatikanlah selalu batas-batas ketelitian yang sebanding untuk arah (sudut) dan jarak.
16. Berilah tanda pengenal titik dengan nomor urut atau nama-nama, sewaktu digambar. Berilah angka garis-garis tinggi.
17. Perintahkan petugas rambu membuat sketsa sendiri pada bidikan-bidikan panjang untuk kemudian dipindahkan pada peta planset.
18. Bawalah radio untuk membantu petugas rambu menjelaskan ciri-ciri topografik bila pengamat tidak dapat mengenalnya karena jauh jaraknya atau halangan.
19. Pakailah titik yang sama untuk menentukan lokasi detail dan garis tinggi di mana memungkinkan.
20. Tentukan lokasi garis tinggi dengan metode langsung pada tanah yang miringnya landai dan berbukit. Pakailah prosedur tak langsung di daerah bergunung-gunung dan wilayah yang berlereng seragam.
21. Ikatkan sepotong kain berwarna pada rambu optis di pembacaan yang diperlukan untuk mempercepat pekerjaan dalam menentukan lokasi garis tinggi dengan metode langsung.
22. Buatlah sketsa garis tinggi setelah tergambar tiga titik. Titik-titik di peta tak berarti bila tak dapat dikenal di tanah.
23. Tunjukkan tinggi titik untuk puncak, lekukan, jembatan, persilangan jalan, dan semua titik kritis yang lain.
24. Pakailah metode loncatan di wilayah yang sulit dijangkau.
25. Gambarlah garis-garis dengan interval 1 in pada keempat tepi kertas planset di saat penggambaran pertama dikerjakan. Garis-garis itu berlaku sebagai alat untuk menentukan bila ada pengembangan dan penyusutan kertas.
26. Pakailah pensil 6-H atau lebih keras untuk mencegah hilangnya bekas tulisan atau gambar.

18-13. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM PEKERJAAN PLANSET. Beberapa sumber galat dalam pekerjaan planset sebagai berikut:

1. Meja tidak datar.
2. Orientasi terganggu sewaktu pengukuran detail.
3. Bidikan terlalu panjang untuk pembuatan sketsa akurat.
4. Titik kontrol tak cukup atau bermutu rendah.
5. Pengukuran poligon dan detail serentak.
6. Terlalu sedikit mengambil titik untuk pembuatan sketsa yang baik.

18-14. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan umum dibuat pada pemakaian planset adalah:

1. Kesalahan dalam membaca perpotongan rambu dan sudut
2. Kesalahan dalam reduksi jarak optis.
3. Kesalahan dalam menggambar garis tinggi.
4. Kesalahan dalam orientasi.

SOAL-SOAL

18-1. Bandingkan kebaikan dan keburukannya berturut-turut kepala kaki-tiga jenis Johnson dan Coast and Geodetic Survey.

18-2. Sebutkan tiga metode orientasi planset, kebaikan-kebaikan dan keburukan-keburukannya, dan sebuah contoh pemakaian praktis dari masing-masing metode.

18-3. Tergantung pada faktor-faktor apakah orientasi planset yang teliti?

18-4. Mengapa mengukur poligon planset dan menentukan lokasi detail sekaligus itu berbahaya?

18-5. Apakah tanda di dinding gedung dari batu bata yang disinari matahari merupakan bidikan belakang permanen yang baik? Terangkan.

18-6. Jelaskan sebuah keadaan di mana bisa ada eksentrisitas yang berdaya guna.

18-7. Barangkali sulit atau tak mungkin mengukur sebuah sudut vertikal 40° dengan beberapa alidade planset. Mengapa?

18-8. Untuk kondisi lapangan yang bagaimanakah planset lebih disukai daripada transit-optis dalam pembuatan pengukuran topografik?

18-9. Bandingkan metode-metode memancar dan perpotongan untuk pemakaian planset. Berilah contoh pemakaian paling disukai dari masing-masing.

18-10. Tentukan lokasi kedudukan sebuah titik *C* di meja Anda dengan metode dua-titik. Tandailah titik *A* di sebuah papan tulis dan titik *B* di meja lain. Ukurlah jarak *AB* dan gambarlah menurut skala sebagai *ab* di kertas yang terlekat di meja. Tentukan lokasi titik *c* pada kertas di atas *C*. Bidiklah pada satu tepi mistar skala untuk memperoleh garis pemotongan ke belakang.

18-11. Seperti Soal 18-10, kecuali memakai metode kertas tembus tiga-titik. Tandailah tiga titik: *A* di sebuah pojok, *B* dan *C* di papan tulis. Ukurlah jarak-jarak *AB* dan *AC*. Gambarlah titik-titiknya menurut skala. Bidiklah pada mistar skala untuk menentukan garis-garis pemotongan ke belakang.

18-12. Periksalah bahan bacaan planset atau *Elementary Surveying*, edisi kelima. Uraikanlah kebaikan-kebaikan metode lokasi tiga-titik dari Lehmann.

18-13. Pilihlah dua keadaan lapangan yang menyebabkan pemakaian planset lebih baik dari pada pemetaan fotogrametrik.

18-14. Bagaimana planset dapat dipakai dalam kaitannya dengan peta topografik yang dibuat secara fotogrametris?

18-15. Sebutkan faktor-faktor berkaitan untuk dipertimbangkan dalam memilih skala yang benar untuk suatu proyek planset tertentu?

18-16. Pada panjang bidikan maksimum berapakah, pengaruh-pengaruh kelengkungan dan biasan diabaikan dalam memperoleh elevasi dengan sebuah planset?

18-17. Apakah poligon cabang baik dikerjakan dengan planset? Terangkan.

18-18. Apakah masalah terbesar dalam sipat datar, sipat datar trigonometrik dan pengukuran jarak-optis dengan planset?

18-19. Sebuah planset di patok *D* diorientasikan dengan kompas untuk memulai sebuah pengukuran. Sebagai akibatnya, garis pertama meleset 30 menit dari arah yang dikira. Jika diperpanjang menjadi 5 mil dan patok *E* dipasang, berapakah galat kedudukan tergambar *E* jika skalanya adalah 1 : 24.000?

18-20. Bagaimana sebuah peta planset dicek ketelitiannya?

18-21. Faktor-faktor apakah menyebabkan galat dalam "metode loncatan"?

18-22. Dalam mendatarkan planset, keadaan manakah menuntut kecermatan paling tinggi: bidikan-bidikan pendek, sudut vertikal yang besar, atau skala yang kecil?

18-23. Apakah masalah utama yang timbul dalam memakai sebuah planset? Bagaimana mengoreksinya?

18-24. Alidade sebuah planset ditempatkan 4 in meleset dari titiknya yang benar sewaktu membidik sebuah sasaran sejauh 90 ft. Skala peta adalah 1 in = 50 ft. Cukup berartikah galatnya? Jelaskan.

18-25. Teropong sebuah alidade dipusatkan pada bilah yang lebarnya 3 in. Berapa galat yang terjadi dalam penggambaran bidikan 50 ft jika skala peta adalah 1 : 2000? Berapa jika bidikan 600 ft dan skala peta 1 in = 500 ft?

18-26. Jumlah jarak sebuah poligon planset tertutup adalah 7800 ft. Pada waktu digambar, tak dapat tertutup dan meleset sebesar 0,30 in. Jika skala peta adalah 1 in = 200 ft, berapa kesalahan penutup yang diperoleh.

18-27. Serupa Soal 18-26, kecuali kesalahan penutup linier adalah 0,12 in dan skalanya 1 in = 100 ft.

18-28. Metode loncatan dipakai untuk menentukan elevasi titik *k* pada Gambar 18-9. Sebuah planset dipasang di *X*, elevasinya 820,0 dan t.i. = 5,4 ft. Dengan teropong datar, sebuah perpotongan rambu diperoleh yaitu *ab* = 3,56 ft pada *c* dan 5,2 ft terbaca pada benang tengah. Jika ada lima loncatan diambil dari dasar rambu di *c* dan jarak ditaksir vertikal ke *k* tinggal 0,5 ft, hitunglah elevasinya.

18-29. Serupa Soal 18-28, kecuali perpotongan rambu adalah 4,65 ft, diambil 5 loncatan dan jarak vertikal ditaksir ke *k* adalah 2 ft.

18-30. Sebidang kapling empat persegi panjang arah U-S dan T-B adalah 75 × 50 ft. Untuk menentukan lokasi garis tinggi, kapling ini dibagi-bagi menjadi petak-petak bujursangkar 25-ft dan berikut ini adalah berturut-turut pembacaan sepanjang garis-garis T-B di pojok-pojok: 6,4, 5,8, 3,8; 6,0, 6,7, 5,2; 7,9, 6,8, 6,2; dan 9,5, 8,2, 6,7. TI adalah 180,3 ft. Buatlah sketsa garis tinggi 1-ft.

DAFTAR PUSTAKA

Harrington, E.L. 1955. "Metode Loncatan pada Pengukuran Jarak Optis." *Surveying and Mapping* 15(no. 4): 460.

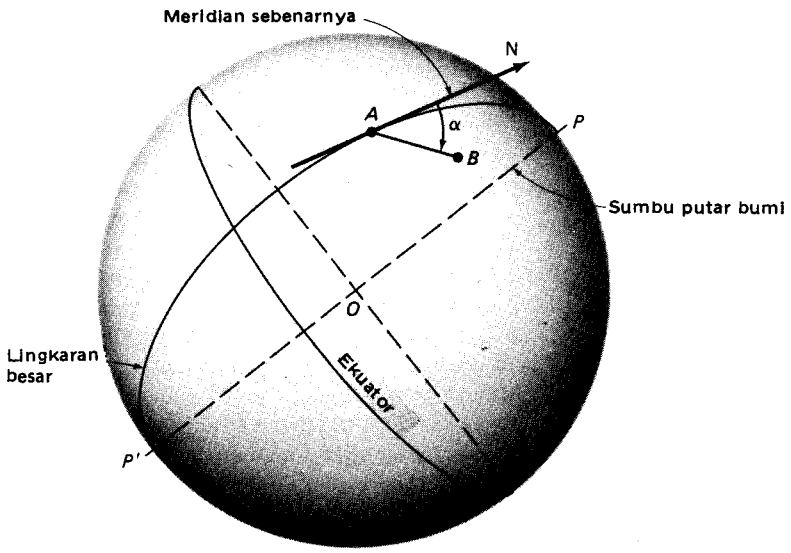
Loew, J.W. 1952. *Pemetaan Planset.* New York: Harper & Row.

19 PENGAMATAN - PENGAMATAN ASTRONOMIS

19-1. PENGANTAR. Pengamatan-pengamatan astronomis dalam pengukuran tanah terdiri atas pengukuran kedudukan matahari atau bintang-bintang tertentu; tujuan utamanya dalam pengukuran tanah bidang datar adalah untuk menentukan arah meridian sebenarnya (utara astronomik). Karena itu sudut arah dan azimut sebenarnya dapat dihitung memakai meridian ini. Sudut arah dan azimut ini diperlukan untuk menetapkan arah garis-garis pemilikan tanah yang baru sehingga bidang dapat dijelaskan dengan benar; untuk melacak kembali batas-batas pemilikan lama yang penjelasannya termasuk sudut arah; untuk menentukan arah tangen (garis singgung) pada pengukuran jalur lintas; dan untuk tujuan lain. Pengamatan astronomis lainnya yang penting tetapi kurang sering dilaksanakan adalah menemukan lintang dan bujur titik.

Untuk mengembangkan definisi meridian sebenarnya yang diberikan dalam Paragraf 8-4, pada sembarang titik meridian sebenarnya adalah sebuah garis menyinggung, dan dalam bidang datar yang sama, lingkaran besar yang melalui titik itu dan kutub-kutub utara dan selatan geografik. Ini dijelaskan dalam Gambar 19-1, di mana P dan P' adalah kutub-kutub yang terletak pada sumbu perputaran bumi. Garis PAP' adalah lingkaran besar melalui A, dan garis AU adalah meridian sebenarnya (garis singgung ke lingkaran besar di A di bidang $POP'A$). Dengan tertentunya meridian sebenarnya, azimut sebenarnya α sembarang garis, misalnya AB pada Gambar 19-1, dengan mudah dapat diperoleh dengan jalan menentukan sudut horisontal NAB.

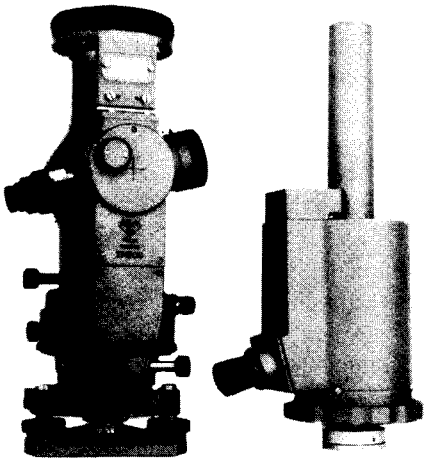
Pengamatan astronomis tidak selalu diperlukan pada proyek di mana sudut arah sebenarnya atau azimut sebenarnya dibutuhkan. Jika sepasang tugu titik kontrol yang saling



Gambar 19-1. Meridian sebenarnya dan azimut sebenarnya.

bisa melihat, yang berasal dari pengukuran sebelumnya, ada di wilayah itu dan diketahui sudut arah sebenarnya atau azimut sebenarnya untuk garis itu, arah-arah baru dapat diacukan terhadapnya. Juga sekarang tersedia gyro pencari-utara yang dapat secara otomatis dan cepat memastikan arah utara sebenarnya. Ini dicapai bila sumbu gyro yang berputar telah meluruskan diri sendiri dengan sumbu perputaran bumi. Garis bidik teodolit, pada mana gyro dilekatkan (Gambar 19-2) kemudian dapat diputar ke utara seperti yang dipastikan oleh gyro. Prosesnya hanya makan waktu beberapa menit dan dapat menghasilkan ketelitian ± 20 detik atau lebih baik. Gyro terutama bermanfaat untuk proyek-proyek di mana pengamatan astronomis tak dapat dilaksanakan – misalnya dalam pengukuran tanah tambang.

Tugu-tugu titik kontrol sering tidak tersedia untuk acuan, dan gyro pencari utara itu nisbi mahal dan penggunaannya terbatas khusus untuk penentuan azimut. Jadi, pengamatan astronomis yang dapat dikerjakan dengan alat ukur baku, adalah sangat penting. Prose-



Gambar 19-2. Teodolit TM-20C dan tempelan gyro GP-1. (Atas kebaikan Lietz Co.)

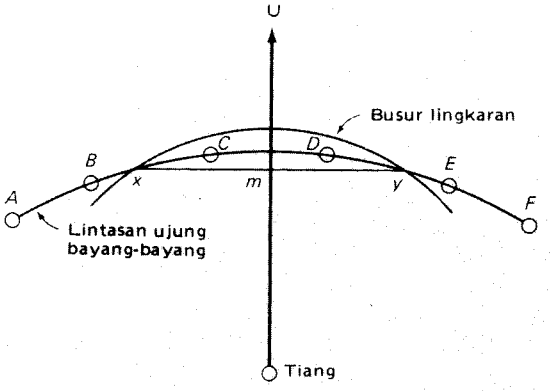
dur lapangan dan kantor yang terlibat dalam proses ini merupakan pokok-pokok pembicaraan bab ini.

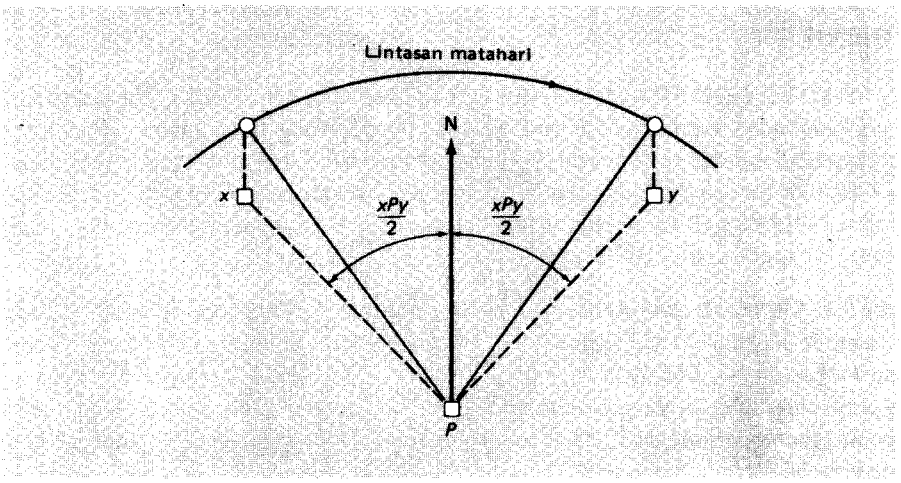
19-2. METODE SEDERHANA MENENTUKAN MERIDIAN. Untuk mengantarkan bab tentang penentuan meridian, dibicarakan dua metode yang tidak memerlukan hitungan. Keduanya berdasarkan pada pengetahuan bahwa matahari nampak bergerak pada jalur yang pada dasarnya berupa lingkaran dan mencapai kedudukan paling tinggi pada saat melewati meridian. Jadi jika arah ke matahari pada ketinggian maksimum dapat ditentukan, meridian sebenarnya dapat ditentukan lokasinya.

19-2.1. METODE BAYANG–BAYANG. Meridian sebenarnya dapat ditetapkan dengan metode bayang-bayang hanya memakai sebuah batang atau tiang lurus dan seutas tali. Dalam Gambar 19-3, titik-titik *A, B, C, D, E* dan *F,* menandai ujung bayang-bayang sebuah tiang atau tiang telepon yang ditegakkan dengan unting-unting pada selang waktu misalnya 30 menit selama periode dari jam 9 pagi sampai jam 3 siang. Sebuah lengkungan halus dilukiskan melalui tanda-tanda tadi. Dengan tiang tadi sebagai pusat dan sebuah jari-jari yang cukup, dibuat busur lingkaran untuk memperoleh dua titik potong x dan y dengan lengkungan yang dibuat tadi. Sebuah garis dari tiang melewati m yaitu titik tengah garis xy, merupakan pendekatan meridian. Jika tanahnya datar, tiang ditegakkan baik-baik dengan unting-unting dan titik-titik bayang-bayang ditandai dengan cermat, sudut antara garis yang dibuat dan meridian sebenarnya dapat diperoleh dengan ketelitian dalam batas kira-kira ± 30 menit.

19-2.2. TINGGI MATAHARI SAMA. Penentuan meridian dengan tinggi matahari sama, memerlukan sebuah teodolit kompas atau teodolit, tetapi metodenya sama dengan prinsip metode bayang-bayang. Anggaplah bahwa meridian akan dilewati melalui titik *P* dalam Gambar 19-4, di mana instrumen dipasang. Pada suatu saat antara jam 8 dan 10 pagi, misalnya sekitar jam 9 pagi, dengan sepotong kaca gelap di dekat okuler atau lensa obyektif, bentuk lingkaran matahari dibagi dua oleh benang horisontal maupun vertikal. Sudut vertikal dibaca, teropong dibuat luar biasa, dan titik x dipasang paling sedikit 500 ft dari instrumen. Beberapa saat sebelum jam 3 sore, dengan sudut vertikal yang terbaca tadi dipasang pada lingkaran vertikal, matahari diikuti hingga benang silang horisontal dan vertikal

Gambar 19-3. Penentuan azimut dengan metode bayang-bayang.





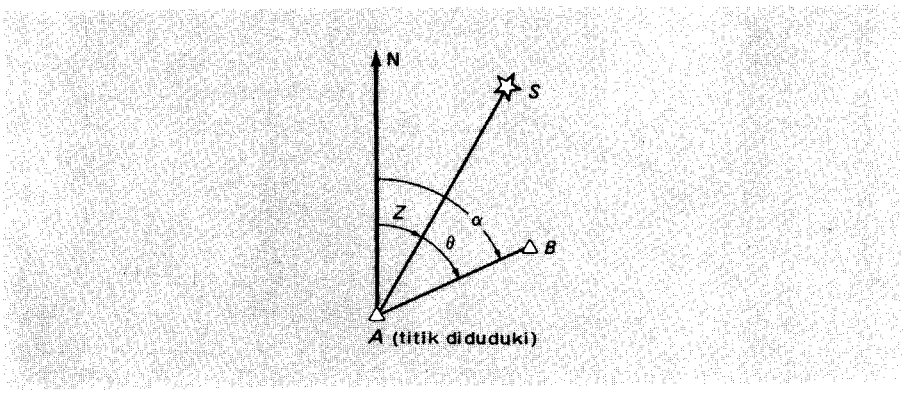
Gambar 19-4. Azimut dengan tinggi matahari sama.

membagi lagi dengan serentak lingkaran bayangan matahari. Teropong diluarbiasakan lagi dan sebuah titik y dipasang kira-kira sama jauh dari P terhadap x. Garis bagi sudut xPy adalah meridian sebenarnya.

Hasil sempurna tak dapat diperoleh dengan kedua cara sederhana ini, karena deklinasi matahari yang berubah (lihat Paragraf 19-5 untuk definisi deklinasi) menyebabkan lintasannya sedikit menyerong terhadap ekuator dan tidak sejajar. Kelemahan lainnya adalah waktu dan penundaan yang diperlukan, dan kemungkinan adanya awan menghalangi pandangan. Karena kelemahan-kelemahannya, prosedur-prosedur ini jarang dipakai oleh juru-ukur, tetapi benar-benar melukiskan penentuan meridian yang caranya tidak rumit.

19-3. GAMBARAN IKHTISAR PROSEDUR UMUM UNTUK PENENTUAN AZIMUT ASTRONOMIS. Prosedur lapangan yang biasa digunakan oleh para juru-ukur untuk menentukan arah utara sebenarnya terdiri atas langkah-langkah sebagai berikut: (1) sebuah teodolit kompas atau teodolit dipasang dan diatur pada satu ujung garis yang azimutnya akan ditentukan, misalnya titik A pada Gambar 19-5; (2) dibaca lingkaran horisontal dan vertikal sewaktu terarah pada sebuah benda langit S; (3) saat tepat pada waktu pembi-

Gambar 19-5. Penentuan azimut dari pengamatan pada benda langit.



dikan dicatat; dan (4) sebuah sudut horisontal dibaca (diukur) dari benda langit ke titik di ujung-garis lain, misalnya θ pada Gambar 19-5 dari S ke B. Pekerjaan kantor melibatkan (a) memperoleh lokasi saksama benda langit tadi di langit pada saat dibidik dari sebuah *efemeris* (almanak kedudukan-kedudukan benda langit); (b) menghitung azimut benda langit (sudut Z pada Gambar 19-5) berdasarkan data pengamatan dan data efemeris; dan (c) menghitung azimut garis dengan jalan menerapkan sudut horisontal terukur pada azimut benda langit hasil hitungan ($\alpha = Z + \theta$ dalam Gambar 19-5).

Benda langit manapun yang datanya termuat dalam efemeris dapat dipakai dalam prosedur yang diberikan garis besarnya tadi; tetapi, matahari dan di Amerika Serikat, Polaris (bintang utara) hampir selalu dipilih untuk dipakai. Matahari memungkinkan pengamatan dilaksanakan siang hari pada jam kerja biasa; Polaris lebih disukai karena mudahnya pengamatan dan ketelitiannya yang berhasil baik karena lokasinya di langit menguntungkan.

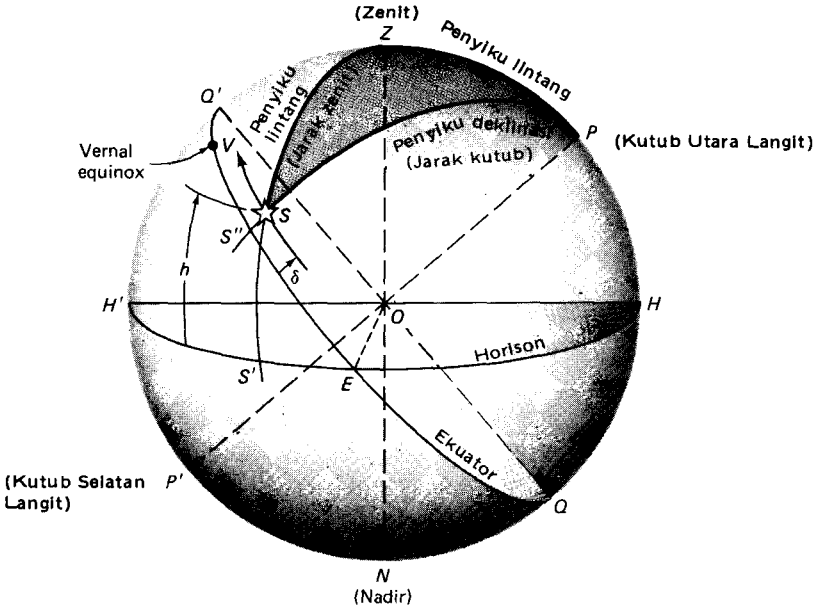
Ketelitian yang dapat dicapai dalam azimut astronomis tergantung pada banyak variabel, termasuk (a) kesaksamaan teodolit kompas dan teodolit yang dipakai, (b) kemampuan dan pengalaman pengamat, (c) keadaan cuaca, (d) mutu jam atau kronometer yang dipakai untuk mengukur saat bidikan, (e) benda langit yang dibidik dan kedudukannya pada saat diamati, dan (f) ketelitian efemeris dan data lain yang tersedia. Pengamatan Polaris memberikan hasil terbaik dan, dengan beberapa ulangan pengukuran memakai instrumen peringkat pertama, dimungkinkan ketelitian dalam batas 1 detik. Pengamatan matahari menghasilkan ketelitian lebih rendah, tetapi harga-harga yang ketelitiannya dalam batas ± 10 sampai 15 detik dapat diperoleh bila dilaksanakan pengukuran berulang yang cermat.

19-4. ALMANAK ASTRONOMIS. Berbagai almanak astronomis tersedia bagi juru-ukur untuk memperoleh kedudukan matahari dan bintang. Beberapa di antaranya yang paling bermanfaat adalah: *The Nautical Almanac,* diterbitkan oleh U.S. Naval Observatory; *The Ephemeris of the Sun, Polaris and Other Selected Stars,* juga diterbitkan oleh U.S. Naval Observatory tetapi khususnya untuk para juru ukur (keduanya tersedia dari U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402); *Apparent Places of Fundamental Stars,* diterbitkan oleh Astronomisches Rechen-Institute, Heidelberg, JermanBarat; dan yang ukuran-saku *Solar Ephemeris,* diterbitkan dan dijual oleh Keuffel & Esser Company, Morristown, N.J. 07960.

Harga-harga yang termuat dalam almanak diberikan dalam Greenwich civil time (waktu matahari-menengah Greenwich), sehingga sebelum mengambil harga dari almanak, waktu baku (standard times) yang biasanya dicatat untuk pengamatan harus dikonversi menjadi waktu Greenwich (Greenwich time). Hal ini dibicarakan lebih lanjut dalam Paragraf 19-6.

Pembahasan berikut ini dengan anggapan sudah tersedia sebuah almanak astronomis. *Solar Ephemeris* dari Keuffel & Esser tahun 1983, dengan harga-harga dihitung sampai 0,1 menit terdekat (cukup untuk ketelitian biasa), dipakai untuk acuan dalam contoh-contoh yang diberikan dalam bab ini. Nomor tabel dan halaman diberi catatan untuk harga-harga yang diambil daripadanya. (Nomor-nomor halaman ini biasanya sedikit berubah dalam tahun-tahun berturutan).

19-5. DEFINISI-DEFINISI. Dalam membuat dan menghitung pengamatan astronomis, matahari dan bintang-bintang dianggap terletak pada permukaan sebuah *bola langit* berjari-jari sangat besar dan bumi merupakan pusatnya. Karena perputaran bumi pada sumbunya, semua bintang nampak bergerak mengelilingi pusat-pusat yang ada pada sumbu utara-selatan bola langit. Gambar 19-6 adalah sebuah sketsa bola langit dan melukiskan beberapa istilah yang dipakai dalam astronomi lapangan. Di sini O adalah bumi, dan S adalah sebuah benda langit, seperti matahari atau sebuah bintang yang arah gerakan nampaknya ditunjuk-



Gambar 19-6. Bola langit.

kan dengan panah. Para mahasiswa akan merasakan manfaat pembuatan sketsa berbagai ciri pada sebuah bola sebenarnya atau globe.

Zenit terletak di mana garis unting-unting diproyeksikan di atas horison menembus bola langit. Pada diagram biasanya disebut *Z*. Dinyatakan secara berbeda, zenit adalah titik di bola langit yang vertikal di atas pengamat.

Nadir adalah titik di bola langit vertikal di bawah pengamat dan tepat berlawanan dengan zenit.

Kutub langit utara (north celestial pole) adalah titik *P* di mana sumbu perputaran bumi, diperpanjang dari kutub utara geografik, menembus bola langit.

Kutub langit selatan adalah titik *P'* di mana sumbu perputaran bumi, diperpanjang dari kutub selatan geografik, menembus bola langit.

Sebuah *lingkaran vertikal* adalah sembarang lingkaran besar bola langit yang melalui nadir dan zenit, dan merupakan garis potong bidang vertikal dengan bola langit.

Ekuator langit adalah lingkaran besar pada bola langit yang bidangnya tegak lurus sumbu perputaran bumi. Ini merupakan ekuator bumi yang diperpanjang garis tengahnya. Setengah ekuator dilukiskan dengan $Q'S''EQ$ dalam Gambar 19-6.

Sebuah *lingkaran jam* adalah sembarang lingkaran besar pada bola langit yang melalui kutub-kutub langit utara dan selatan. Oleh karena itu, lingkaran jam tegak lurus pada bidang ekuator langit. Lingkaran jam adalah seperti meridian (garis bujur) dan dipakai untuk mengukur sudut jam.

Horison adalah lingkaran besar bola langit yang bidangnya tegaklurus arah garis unting-unting. Dalam ilmu ukur tanah, bidang horison ditentukan dengan alat sipat datar. Setengah horison dinyatakan dengan $H'S'EH$ dalam Gambar 19-6.

Meridian langit adalah lingkaran jam yang memuat zenit. Ini juga dinyatakan sebagai lingkaran vertikal yang melalui kutub-kutub langit. Perpotongan bidang meridian langit dengan bidang horison adalah garis $H'OH$ pada Gambar 19-6, yang menentukan arah utara sebenarnya. Jadi, inilah garis meridian astronomik yang digunakan dalam ilmu ukur

tanah datar. Karena timur adalah 90° putaran searah jarum jam dari utara sebenarnya, garis *OE* di bidang horison adalah garis timur sebenarnya. Meridian langit terdiri atas dua cabang: *bagian atas* di mana ada zenit dan merupakan setengah lingkaran $PZQ'H'P'$ pada Gambar 19-6, dan *bagian bawah* meliputi nadir dan adalah busur $PHQNP'$.

Lingkaran harian (diurnal circle) adalah seluruh lintasan yang dilewati matahari atau sebuah bintang dalam orbit hariannya yang nampak mengelilingi bumi. Empat istilah menjelaskan kedudukan-kedudukan khusus benda langit dalam lingkaran hariannya: (1) *kulminasi bawah* – kedudukan benda langit ketika tepat di bagian bawah meridian langit; (2) *elongasi timur* – bila benda langit berada paling timur dari meridian langit dengan lingkaran jamnya tegaklurus lingkaran vertikalnya; (3) *kulminasi atas* – bila benda langit pada bagian atas meridian langit; dan (4) *elongasi barat* – bila benda langit berada paling barat dari meridian langit dengan lingkaran jamnya tegaklurus lingkaran vertikal.

Sebuah *sudut jam* (hour angle) adalah sudut antara bidang meridian langit dan bidang lingkaran jam melalui benda langit. Ini diukur dengan sudut di kutub antara meridian dan lingkaran jam,satau dengan busur ekuator yang dipotong kedua lingkaran.sSudut jam diukur ke barat (pada arah perjalanan matahari atau sebuah bintang, yang nampak dari bumi) dari bagian atas meridian acuan.

Sudut jam Greenwich sebuah benda langit pada suatu saat adalah sudut, diukur ke arah barat, dari bagian atas meridian Greenwich ke meridian lokasi benda langit saat itu.[1] Di dalam almanak astronomis ini disebut GHA. *Sudut jam lokal* (LHA = local hour angle) adalah seperti GHA kecuali bahwa pengukurannya dari meridian pengamat.

Deklinasi sebuah benda langit adalah jarak sudut diukur sepanjang lingkaran jam antara benda langit dengan ekuator; tandanya plus bila benda langit di utara ekuator dan minus bila ada di selatan ekuator. Deklinasi biasanya dinyatakan dengan δ dalam rumus-rumus, dan dinyatakan sebagai $S''S$ pada Gambar 19-6.

Kedudukan sebuah benda langit terhadap bumi pada suatu saat dapat diberikan berdasarkan deklinasi dan sudut jam Greenwichnya.

Jarak kutub sebuah benda langit adalah jarak sudutnya dari kutub diukur sepanjang sebuah lingkaran jam. Besarnya sama dengan 90° dikurangi deklinasi. Dalam Gambar 19-6, jarak kutub adalah busur PS', disebut ko-deklinasi (penyiku deklinasi).

Tinggi bintang sebuah benda langit adalah jarak sudut diukur sepanjang sebuah lingkaran vertikal di atas horison, $S'S$ pada Gambar 19-6. Tinggi bintang diukur dengan lingkaran vertikal pada teodolit kompas, teodolit atau sekstan dan biasanya dalam rumus dinyatakan dengan *h*.

Jarak zenit (co-altitude, zenit distance) adalah busur *ZS* dalam Gambar 19-6 dan sama dengan 90° minus tinggi bintang.

Segitiga astronomis atau *PZS* (dalam gambar dibuat gelap) adalah segitiga bola yang titik-titik sudutnya adalah kutub (*P*), zenit (*Z*) dan benda langit (*S*). Karena gerakan-nampak benda langit melalui lingkaran hariannya, ketiga sudut segitiga ini selalu berubah.

Azimut sebuah benda langit adalah busur horison searah jarum jam dari titik utara atau titik selatan sampai lingkaran vertikal yang melewati benda langit itu. Sebuah azimut dari utara dinyatakan dengan HS' pada Gambar 19-6 dan itu sama dengan sudut *Z* pada segitiga *PZS*.

Lintang pengamat adalah jarak sudut, diukur sepanjang meridian, dari ekuator sampai kedudukan pengamat. Dalam Gambar 19-6 ini adalah busur $Q'Z$, yang juga jarak sudut antara sumbu kutub dan horison atau busur *HP*. Lintang diukur utara atau selatan ekuator. Rumus-rumus dalam buku ini memakai notasi ϕ untuk lintang.

---

[1]Meridian Greenwich, Inggris adalah meridian yang telah diakui seluruh dunia sebagai meridian acuan untuk menentukan bujur titik di bumi dan untuk menentukan kedudukan benda langit.

Vernal equinox adalah titik potong ekuator langit dan lingkaran jam melalui matahari pada saat mencapai deklinasi nol (sekitar tanggal 21 Maret tiap tahun). Untuk sembarang tahun kalender titik ini merupakan titik tertentu di bola langit (merupakan titik di langit yang bagi ahli astronomi berkoordinat nol-nol) dan bergerak dengan bola langit seperti bintang-bintang. Pada Gambar 19-6 dinyatakan dengan *V*. Disebut juga sebagai titik semi.

Asensio rekta sebuah benda langit adalah jarak sudut *VS''* diukur ke arah timur dari lingkaran jam melalui vernal equinox ke lingkaran jam benda langit. Asensio rekta sering menggantikan sudut jam Greenwich sebagai cara untuk menentukan kedudukan sebuah bintang terhadap bumi. Tetapi dalam sistem ini, sudut jam Greenwich vernal equinox juga harus diberikan.

Refraksi (biasan) seperti dilukiskan dalam Gambar 19-13, adalah pertambahan sudut pada tinggi bintang-nampak (terukur) sebuah benda langit akibat pembelokan berkas sinar yang lewat miring melalui atmosfer bumi. Harganya berkisar dari nol untuk tinggi bintang 90° sampai sebuah maksimum kira-kira 35 menit di atas horison, dan untuk titik-titik di antaranya, harganya dalam menit, secara kasar sama dengan cotg (cotangent) tinggi bintang terukur. Perataan-perataan kecil juga harus dilaksanakan untuk memberi koreksi terhadap keragaman suhu dan tekanan udara. Biasan menyebabkan pengamatan pada benda langit dekat horison kurang dapat dipercaya daripada yang diambil dengan tinggi bintang besar. Kebanyakan almanak astronomis memuat harga koreksi-koreksi biasan untuk berbagai harga tinggi bintang, suhu dan tekanan udara. Koreksinya selalu dikurangkan dari tinggi bintang terukur.

Paralaks, seperti dilukiskan dalam Gambar 19-13, dihasilkan dari pengamatan yang dibuat dari permukaan bumi dan bukan di pusat bumi. Ini menyebabkan sebuah pengurangan sudut pada tinggi bintang-nampak; karenanya, koreksinya selalu ditambahkan. Paralaks tidak berarti bila yang diamati bintang namun harus ditambahkan pada tinggi matahari. Almanak astronomis juga memuat tabel-tabel koreksi paralaks.

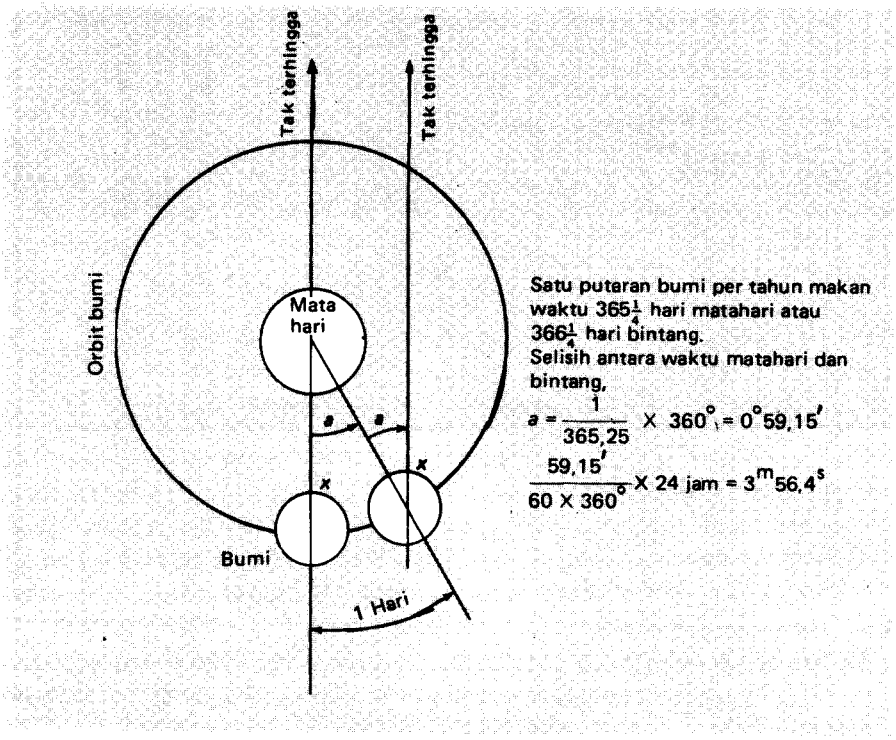
19-6. SAAT-SAAT WAKTU. Empat macam waktu dipakai dalam membuat dan menghitung pengamatan astronomis.

Waktu bintang (Sidereal time). Satu hari bintang adalah interval waktu antara dua kulminasi atas titik semi (vernal equinox) yang berturutan pada meridian yang sama. Waktu ini adalah sebuah waktu bintang. Pada sembarang lokasi untuk suatu saat, besarnya sama dengan sudut jam vernal equinox lokal.

Waktu Matahari Sejati. Satu hari matahari sejati (apparent solar day) adalah jangka waktu antara dua kulminasi-bawah matahari yang berturutan. Waktu matahari sejati adalah waktu matahari dan panjang hari beragam sedikit karena kecepatan edar matahari tidak panggah (konstan). Karena bumi mengelilingi matahari sekali setahun, maka dalam satu tahun ada sehari kurangnya dibanding waktu bintang. Jadi panjang hari bintang lebih singkat kira-kira 3 menit 56 detik dibanding sehari matahari. Hubungan antara waktu bintang dan waktu matahari dilukiskan dalam Gambar 19-7.

Waktu Matahari Menengah (Civil Time). Waktu ini dikaitkan dengan matahari fiktif yang disebut matahari "menengah" yang dianggap bergerak dengan kecepatan seragam. Ini merupakan dasar waktu arloji dan sehari 24-jam.

Perata waktu (equation of time) adalah selisih antara waktu matahari menengah dan waktu matahari sejati. Harganya selalu berubah sewaktu matahari sejati ada di depan dan kemudian di belakang matahari menengah. Harga-harga untuk setiap hari dalam setahun dimuat dalam almanak astronomis. Waktu matahari sejati lokal diperoleh dengan mengurangkan perata waktu dari waktu matahari menengah lokal.



Gambar 19-7. Orbit bumi.

Waktu Standar. Ini adalah waktu menengah pada meridian-meridian terpisah 15° atau 1 jam, diukur ke timur dan ke barat dari Greenwich. Waktu standar timur (Eastern Standard Time, EST) pada meridian ke 75 berbeda dari Greenwich Civil Time (GCT) sebesar 5 jam (lebih dini, karena matahari belum bergerak dari meridian Greenwich ke Amerika Serikat). Waktu standar dipakai di Amerika Serikat dalam tahun 1883, menggantikan kira-kira 100 macam waktu lokal yang dipakai sebelumnya. Daylight Saving Time (DST) dalam sembarang zone adalah sama dengan waktu standar dalam zone ke *timur;* jadi, central daylight time sama dengan EST.

Seperti dikemukakan sebelumnya, kedudukan matahari dan bintang yang ditabelkan dalam almanak astronomis diberikan dalam GCT, yang juga disebut Universal Time (UT). Dipihak lain, waktu pengamatan biasanya dicatat dalam waktu standar lokasi pengamat dan oleh karenanya harus dikonversi menjadi GCT. Konversi ini didasarkan pada bujur meridian standar untuk zone waktu. Tabel 19-1 memuat zone-zone waktu yang berbeda di Amerika Serikat, bujur meridian standarnya, dan jumlah jam yang ditambahkan untuk mengkonversi waktu standar dan daylight time menjadi GCT.

Dalam membuat konveksi waktu menengah berdasarkan selisih bujur, hubungan berikut ini dapat membantu:

360° bujur = 24 jam
15° bujur = 1 jam
1° bujur = 4 menit waktu.

Untuk membuat penandaan saat pengamatan astronomis yang saksama, harus diadakan penelitian pada alat penunjuk waktu terhadap siaran tengara pada radio gelombang pendek. Di Amerika Serikat, the National Bureau of Standards menyiarkan tengara waktu dari

TABEL 19-1. BUJUR-BUJUR MERIDIAN STANDAR DI AMERIKA SERIKAT DAN SELISIH-SELISIH WAKTU DARI GREENWICH

ZONE WAKTU STANDAR (DAN SINGKATANNYA)	BUJUR MERIDIAN STANDAR	KOREKSI DALAM JAM, UNTUK TAMBAHAN MENDAPATKAN GCT	
		WAKTU STANDAR (STANDARD TIME)	DAYLIGHT TIME
Timur (EST)	75°	5	4
Tengah (CST)	90°	6	5
Mountain (MST)	105°	7	6
Pacific (PST)	120°	8	7
Yukon (YST)	135°	9	8
Alaska/Hawaii (AHST)	150°	10	9
Laut Bering (BST)	165°	11	10

stasiun WWV di Ft. Collins, Colorado, pada frekuensi 2,5, 5, 10, dan 15 MHz. Untuk memperluas liputan, tengara-tengara juga dipancarkan dari stasiun WWVH di Hawaii pada frekuensi-frekuensi yang sama. Tengara-tengara ini disiarkan sebagai ketukan-ketukan yang dapat didengar dengan pemberitahuan suara GCT pada tiap menit.

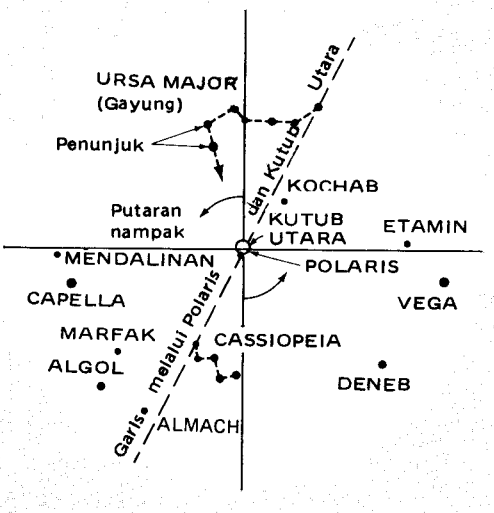
19-7. KEDUDUKAN BINTANG. Jika kutub itu dapat dilihat sebagai titik yang pasti di langit – yaitu bila ada bintang di sana – pengamatan meridian hanya akan memerlukan sebuah bidikan sederhana. Karena kutub itu tak ada tandanya, pengamatan harus dilakukan terhadap bintang-bintang – lebih disukai yang dekat dengan kutub – yang kedudukannya pada saat-saat yang diberikan ada pada sebuah almanak astronomis.

Jika jarak kutub sebuah bintang lebih kecil daripada lintang kedudukan pengamat, bintang itu tak akan pernah terbenam; yaitu jika *PS* pada Gambar 19-6 lebih kecil daripada *PH*, bintang tak akan pernah bergerak di bawah bidang horison dan tak kelihatan. Jadi bintang itu selalu dapat dilihat sepanjang malam. Bintang semacam itu disebut *bintang sirkumpolar.*

Bintang terlihat paling dekat kutub utara adalah *Polaris,* bagian dari rasi *Ursa Minor,* juga disebut *Beruang Kecil* (Little Dippen). Jarak kutubnya berubah sedikit dari tahun ke tahun dan dalam tahun 1983 kira-kira 0°48,5′. Polaris adalah bintang sirkumpolar untuk semua lintang di Amerika Serikat. Di kebanyakan belahan bumi selatan, bintang-bintang pada rasi Salib Selatan adalah sirkumpolar (lingkaran hariannya dekat dengan kutub selatan langit) dan karenanya paling banyak dipakai untuk pengamatan azimut di sana.

Polaris diketemukan lokasinya di langit dengan jalan pertama menemukan Beruang Kecil di Ursa Mayor. Kedua bintang pada gayung yang terjauh dari pegangan adalah Penunjuk, seperti terlihat pada Gambar 19-8. Polaris adalah bintang cemerlang paling dekat sepanjang garis melalui Penunjuk, dan juga terletak pada garis melalui bintang paling timur Casiopeia dan bintang ujung pada pegangan Bintang Biduk (Big Dipper).

19-8. AZIMUT DARI PENGAMATAN POLARIS. Tiga metode yang berbeda telah dipakai dalam pelaksanaan pengamatan Polaris untuk azimut: (1) *Polaris pada sembarang sudut jam,* (2) *Polaris pada kulminasi,* dan (3) *Polaris pada elongasi.* Seperti ditunjukkan oleh namanya, prosedur-prosedur ini pada dasarnya berbeda dalam kedudukan bintang di lingkaran hariannya pada waktu diamati. Metode yang paling sering dipakai oleh para juru-ukur adalah pengamatan Polaris pada sembarang sudut jam, karena dapat dikerjakan pada waktu yang bebas. Selanjutnya, pengamatan berulang dapat dilaksanakan dengan teodolit biasa maupun luar biasa, yang meningkatkan kesaksamaan.



Gambar 19-8. Kedudukan Polaris.

Keuntungan pengamatan Polaris pada kulminasi, saat melewati meridian, adalah bahwa arahnya adalah utara sebenarnya, dan tak diperlukan hitungan lanjutan. Tetapi, hitungan-hitungan harus dibuat sebelum pengamatan untuk menentukan saat kulminasi yang tepat. Kelemahan metode itu adalah bahwa gerakan horisontal yang nampak pada bintang adalah maksimum pada kulminasi, yang menyebabkan pengamatan sedikit lebih sulit dan kurang teliti. Juga, tak dapat dilakukan pengamatan berulang.

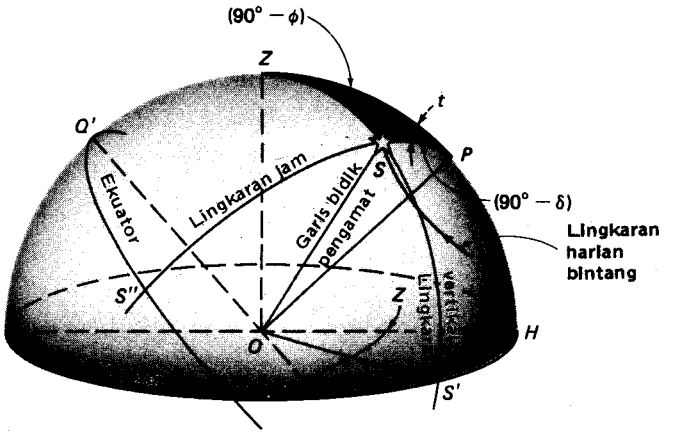
Kebaikan pengamatan Polaris pada elongasi adalah (1) gerakan nampak (apparent) bintang adalah tepat vertikal pada waktu itu, jadi pengamatan lebih mudah dan lebih teliti, dan (2) hitungan-hitungan yang diperlukan untuk menentukan azimutnya agak disederhanakan. Lagi, saat elongasi harus dihitung sebelum pengamatan. Karena azimut bintang hampir panggah (konstan) selama 15 sampai 20 menit sebelum dan setelah elongasi, pengamatan ulang dapat dibuat.

Sebuah kelemahan serius baik pada metode kulminasi maupun elongasi adalah bahwa pengamatan-pengamatan terbatas pada waktu-waktu tertentu dari kejadiannya, yang sering terjadi selama siang hari atau pada larut malam atau pagi-pagi buta yang merepotkan. Jadi metode-metode ini jarang dipakai, sehingga pembahasan dalam buku ini dititikberatkan pada Polaris pada sudut jam sembarang.

19-9. HITUNGAN UNTUK AZIMUT DARI PENGAMATAN POLARIS PADA SEMBARANG SUDUT-JAM. Dalam metode ini, yang dapat dikerjakan kapan saja mulai kira-kira matahari terbenam, hanya pembacaan lingkaran horisontal dan saat saksama yang harus dicatat bila sebuah bintang dibidik. Tetapi pembacaan lingkaran vertikal dianjurkan untuk diambil, untuk menjamin bahwa yang dibidik adalah bintang yang benar dan memberikan pengecekan pada pengamatan (lihat Paragraf 19-11). Setelah mengamati bintang, sebuah sudut horisontal diukur ke titik pada garis yang azimutnya dicari.

Hitungan setelah pekerjaan lapangan adalah penyelesaian sudut Z dalam setitiga astronomis (PZS) (lihat Gambar 19-6). Rumus untuk Z dijabarkan dari rumus ilmu ukur segitiga bola, adalah

$$Z = \text{busur tg}^{-1}\left(\frac{\sin t}{\cos \phi \ \text{tg} \ \delta - \sin \phi \cos t}\right) \qquad (19\text{-}1)$$



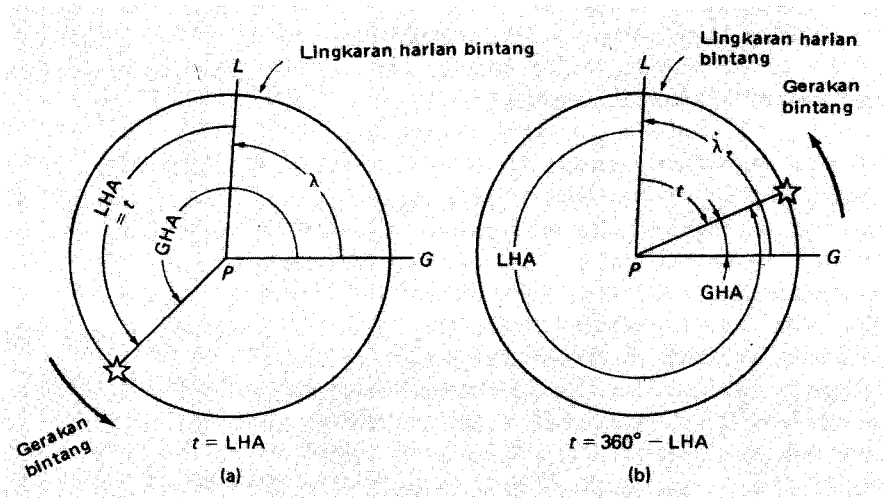
Gambar 19-9. Segitiga *PZS* untuk Polaris pada sembarang sudut jam.

Geometri yang mendasari Pers. (19-1) ditunjukkan lebih jelas dalam Gambar 19-9, di mana segitiga *PZS* juga dibuat dengan warna gelap. Lintang ϕ kedudukan pengamat adalah busur *HP;* jadi busur *PZ* adalah $(90 - \phi)$ atau *co-latitude* (Penyiku lintang). Deklinasi (δ) bintang adalah busur $S''S$, sehingga *SP* adalah $(90 - \delta)$ atau jarak kutub. Sudut *ZPS* pada Gambar 19-9 adalah t, yang disebut *sudut meridian.*

Lintang kedudukan pengamat dapat diambil dari peta segiempat U.S. Geological Survey (USGS) dan dengan cukup kecermatan dapat diperoleh sampai batas ± 2 detik. "Topo Aid" adalah mal-acuan tembus sinar yang ditempatkan di atas lembaran peta USGS, dapat pula dipakai untuk mengukur lintang dan bujur. Dengan cara lain, lintang dapat diperoleh dari pengamatan astronomis seperti diterangkan dalam Paragraf 19-17. Deklinasi dipetik dari almanak astronomis untuk saat pembidikan.

Sudut meridian t sama dengan sudut jam lokal (LHA) bintang bila bintang itu di barat utara, atau (360°– LHA) jika timur dari utara. LHA adalah antara 0° dan 180° bila bintang ada di barat utara dan antara 180° dan 360° bila bintang ada di timur utara. Diagram seperti pada Gambar 19-10(a) dan (b) berguna untuk menentukan sudut-sudut t. Diagram ini

Gambar 19-10. Hitungan sudut meridian (t).



memperlihatkan kutub utara langit sebagai pusat lingkaran harian bintang seperti dipandang oleh pengamat dari posisinya di dalam bola langit. Gerakan bintang nampak adalah lawan arah jarum jam. Sudut λ antara meridian Greenwich G dan meridian lokal L melalui kedudukan pengamat adalah bujur stasiun yang diduduki. GHA bintang diambil dari almanak astronomis untuk saat pengamatan, dan bujur diambil dari peta USGS atau diamati seperti diuraikan dalam Paragraf 19-17. Menggambar kedua harga ini dalam diagram segera membuat jelas kedudukan bintang.

CONTOH 19-1

Untuk serangkaian catatan lapangan yang diperoleh pada tanggal 3 Juni 1983 berikut ini, hitunglah azimut garis AB.[2]

DATA LAPANGAN

PENGAMATAN POLARIS UNTUK AZIMUT
STASIUN YANG DIDUDUKI = A
LINTANG A = U43°05,4′;
BUJUR A = B80°26,0′

SAAT PENGAMATAN (MALAM CDT)	KEDUDUKAN INSTRUMEN BIASA/L.B.	TITIK DIBIDIK	PEMBACAAN LINGKARAN HORISONTAL	PEMBACAAN LINGKARAN VERTIKAL
8.30.49	B	B	0°00,0′	
		Polaris	49°36,2′	47°36,8′
8.39.00	L.B.	B	180°00,0′	
		Polaris	229°38,3′	312°22,6′
8.44.33	B	B	0°00,0′	
		Polaris	49°39,7′	47°38,0′
8.49.46	L.B.	B	180°00,0′	
		Polaris	229°41,1′	312°21,7′

Bila pengamatan-pengamatan terjadi pada jangka waktu singkat, harga purata untuk waktu pengamatan dan sudut horisontal dapat dipakai dan dibuat sebuah reduksi. Ini berarti menganggap bintang bergerak linier sepanjang waktu antara pengamatan pertama dan pengamatan terakhir. Untuk memperoleh hasil lebih teliti, atau bila waktu yang terpakai pengamatan lebih dari 20 menit, tiap pengamatan harus direduksi sendiri-sendiri dan azimut yang dihasilkan diambil harga rata-ratanya. Dalam contoh ini, reduksi dilakukan sendiri-sendiri.

Penyelesaian untuk pengamatan pertama :

1. GCT pengamatan:

8.30.49	malam CDT 3/6/83
+12	koreksi untuk malam
+ 5	koreksi untuk Greenwich
25.30.49	

1.30.49 = GCT pengamatan, 4 Juni 1983.

[2] Sebuah program komputer ditulis dalam BASIC diberikan di Apendiks C. Untuk menggambarkan kegunaannya, soal ini telah diselesaikan.

2. GHA Polaris (dari almanak astronomis K&E):

$$\begin{aligned} 218^\circ 31{,}8' &= \text{2GHA pada jam 0 GCT, 4 Juni 1983 (Tabel 1, hal. 58)} \\ +\ 22^\circ 33{,}7' &\quad \text{pertambahan untuk 1 jam 30 menit} \\ +\ 12{,}3' &\quad \text{pertambahan untuk 49 detik} \end{aligned} \Big\} \text{ Tabel 5, hal. 68}$$

$$241^\circ 17{,}8' = \text{GHA Polaris pada pengamatan}$$

3. Deklinasi Polaris (dari almanak astronomis K&E):

$$\left.\begin{aligned} 0^\circ 48{,}94' &= \text{jarak kutub pada jam 0 GCT, 31 Mei 1983} \\ 0^\circ 48{,}98' &= \text{jarak kutub pada jam 0 GCT, 10 Juni 1983} \end{aligned}\right\} \text{ Tabel 3, hal. 67}$$

Dengan interpolasi untuk kira-kira $3\frac{1}{4}$ hari setelah 31 Mei:

$$(0{,}04)3\tfrac{1}{4}/10 = 0{,}01'$$
jarak kutub pada pengamatan = $0^\circ 48{,}95'$
deklinasi = $90^\circ - 0^\circ 48{,}95' = 89^\circ 11{,}05'$ utara

4. Sudut jam lokal Polaris:

$$\begin{aligned} \text{GHA} \quad & 241^\circ 17{,}8' \\ -\lambda \quad & 89^\circ 26{,}0' \\ \text{LHA} = \quad & 151^\circ 51{,}8' = t \text{ (Polaris ada di barat utara).} \end{aligned}$$

[Catatan: Sebuah sketsa semacam Gambar 19-10(a) berlaku].

5. Azimut Polaris, dengan Pers. (19-1):

$$Z = \text{busur tg} \left[\frac{\sin 151^\circ 51.8'}{\cos 43^\circ 05{,}4' \ \text{tg}\ 89^\circ 11{,}05' - \sin 43^\circ 05{,}4' \cos 151^\circ 51{,}8'} \right]$$

$$= \text{busur tg} \left[\frac{0{,}47158}{(0{,}73028)(70{,}22501) - (0{,}68315)(-0{,}88183)} \right]$$

$$= \text{busur tg } (0{,}0090887)$$

$$= 0^\circ 31.2' \text{ (barat utara)}$$

azimut bintang = $360^\circ - 0^\circ 31{,}2' = 359^\circ 28{,}8'$

6. Azimut garis AB:

$$\begin{aligned} 359^\circ 28{,}8' &\quad \text{azimut Polaris} \\ -\ 49^\circ 36{,}2' &\quad \text{sudut horisontal } B \text{ ke Polaris} \\ \alpha_{AB} = 309^\circ 52{,}6' &= \text{azimut garis } AB \end{aligned}$$

(Catatan: Sebuah sketsa mirip Gambar 19-5 akan membantu hitungan ini).

Ketiga pengamatan lainnya dihitung dengan cara yang sama, dan semua menghasilkan sebuah azimut yang sama untuk garis AB.

19-10. REDUKSI PENGAMATAN POLARIS DENGAN INTERPOLASI GANDA. Parameter dalam Pers. (19-1) yang mempunyai keragaman terbesar adalah sudut meridian t dan lintang pengamat ϕ. Deklinasi (90° –jarak kutub) adalah juga harga berubah (variabel), tetapi hanya berubah sedikit sekali sepanjang tahun. Untuk Polaris dalam tahun 1983, harganya turun-naik dari sebuah minimum 0°48.26′ sampai sebuah maksimum 0°49.02′. Persamaan (19-1) telah diselesaikan berulang kali memakai pertambahan sudut meridian dari 0° sampai 180°, dan pertambahan lintang dari 10° sampai 70°. Jarak kutub dibuat panggah (konstan) pada 0°48.50′. Azimut-azimut yang dihasilkan dari penyelesaian berulang ini dimuat dalam Tabel 10 pada almanak astronomis K&E.

Untuk memperoleh azimut Polaris pada sudut jam sembarang, sebuah interpolasi ganda yang sederhana dapat dibuat dari Tabel 10 setelah penentuan lintang pengamat dan penghitungan sudut jam bintang lokal. Sebuah koreksi kecil harus diterapkan, untuk selisih antara jarak-kutub-sebenarnya Polaris dan harga 0°48.50′ yang dipakai untuk memperoleh data yang termuat dalam Tabel 10. Koreksi-koreksi ini diberikan dalam Tabel 11.

CONTOH 19-2

Tentukan azimut Polaris untuk pengamatan pertama Contoh 19-1 dengan interpolasi ganda.

PENYELESAIAN

Dalam Contoh 19-1, lintang pengamat adalah 43°05.4′U, dan sudut-jam-bintang lokal adalah 151°51.8′. Harga-harga berikut ini (digaris-bawahi) dipetik dari Tabel 10, hal. 78, almanak astronomis K&E:

LHA	LINTANG		
	42°	43°05,4′	44°
150°00′	0°32,3′	0°32,8′	0.33,3′
151°51,8′		0°30,9′	
155°00′	0°27,3′	0°27,7′	0°28,1′

Dengan melakukan interpolasi pertama antara lintang 42° dan 44° untuk memperoleh azimut Z di lintang 43°05.4′ (yang 1.09° lebih besar daripada 42°) menghasilkan di LHA = 150°:

$$Z = 0°32,3' + \frac{1,09}{2}(33,3' - 32,3') = 0°32,8'$$

Pada LHA = 155

$$Z = 0°27,3' + \frac{1,09}{2}(28,1' - 27,3') = 0°27,7'$$

Sekarang dibuat interpolasi kedua antara sudut-jam-lokal 150° dan 155° untuk memperoleh Z pada 151°51.8′ (yang 1.86° lebih besar daripada 150°):

$$Z = 0°32,8' - \frac{1,86}{5}(32,8' - 27,7') = 0°30,9'$$

Akhirnya sebuah koreksi harus dibuat untuk deklinasi Polaris, karena Tabel 10 didasarkan atas sebuah jarak kutub sebesar 0°48.50′ dan dalam Contoh 19-1, jarak kutub Polaris

di saat pengamatan adalah 0°48,95′. Dalam Tabel 11 (hal. 78 almanak astronomis K&E), koreksi ini juga diperoleh dengan interpolasi ganda antara sudut arah 0°20′ dan 0°40′ dan jarak-jarak kutub 0°49,0′ dan 0°48,9′. Koreksinya adalah + 0,3′ yang bila ditambahkan pada Z yang didapat sebelumnya, menghasilkan:

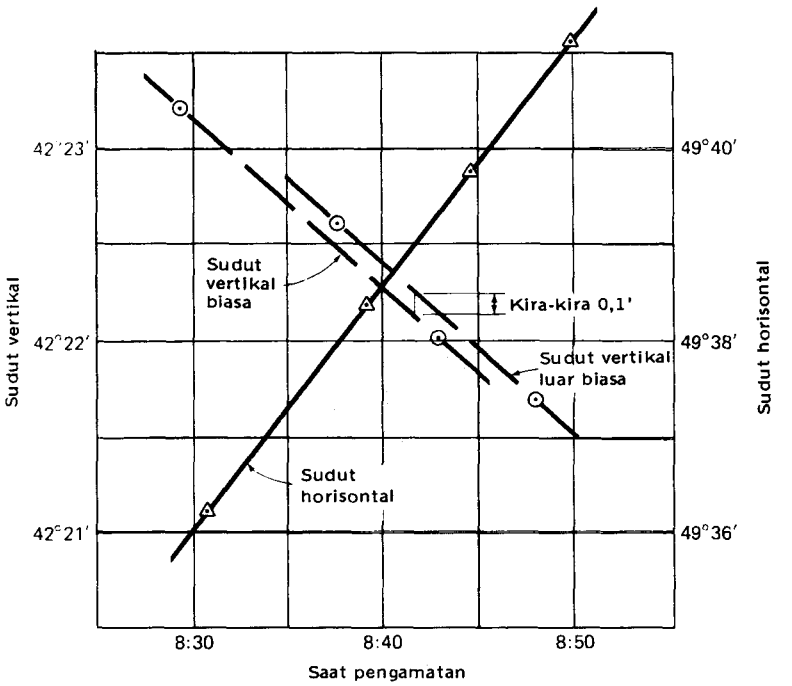
$$Z = 0°30{,}9' + 0{,}3' = 0°31{,}2'$$

Perhatikan bahwa ini cocok dengan harga yang dihitung dalam Contoh 19-1.

19-11. PEMBUKTIAN PENGAMATAN LAPANGAN. Sebelum melaksanakan reduksi azimut, kebenaran pengamatan lapangan harus dibuktikan. Kesalahan-kesalahan yang jelas, atau harga-harga yang mengandung galat besar, kemudian dapat dihilangkan dari penyelesaian atau, bila terlalu banyak yang dibuang, pengamatan diulangi. Jika beberapa pengamatan dibuang, harus dipertahankan jumlah sama antara pengamatan biasa dan luar biasa dalam hitungan untuk menghilangkan pengaruh galat-galat instrumental.

Sebuah cara bagus untuk membuktikan pengamatan adalah dengan jalan menggambar (plot) baik sudut horisontal maupun vertikal terhadap waktu. Hasilnya harus terletak sepanjang sebuah garis lurus untuk pengamatan yang dibuat selama periode waktu yang nisbi singkat. Untuk melukiskan, harga-harga pada Contoh 19-1 telah digambar dalam cara ini pada Gambar 19-11. Perhatikan bahwa sudut-sudut horisontal sungguh-sungguh menepati sebuah garis lurus seperti seharusnya, dan hitungan-hitungan membuktikan bahwa ini adalah serangkaian pengamatan yang sangat bagus. Sudut-sudut vertikal seharusnya juga membentuk sebuah garis lurus, tetapi ternyata pembacaan biasa dan luar biasa menghasilkan dua garis lurus sejajar. Ini menunjukkan bahwa harga-harga sudah dibaca dengan benar, tetapi selang vertikal antara garis-garis sejajar itu menunjukkan adanya galat instrumental sebesar kira-kira 0,1 menit.

Gambar 19-11. Gambar sudut horisontal dan vertikal terhadap waktu untuk membuktikan kebenaran pengamatan.



19-12. MENEMPATKAN POLARIS DALAM TEROPONG. Jika Polaris diamati pada sembarang sudut jam, pekerjaan lapangan dapat dimulai di waktu matahari terbenam dan diselesaikan sewaktu masih ada sedikit sinar siang hari. Ini sangat membantu dalam menangani instrumen dan membuat catatan. Polaris tak dapat dilihat dengan mata telanjang sebelum gelap, tetapi kelihatan melalui teropong teodolit kompas atau teodolit. Untuk membawa bintang itu ke bidang pemandangan, adalah sangat berguna bila dihitung tinggi bintangnya untuk saat pengamatan yang direncanakan. Ini dapat dikerjakan memakai rumus berikut ini yang dijabarkan untuk segitiga *PZS* dari rumus cos ilmu ukur segitiga bola:

$$h = \text{busur sin } (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t) \qquad (19\text{-}2)$$

Persamaan (19-2) akan menghasilkan tinggi bintang sebenarnya, tetapi sebuah koreksi biasan harus ditambahkan untuk benar-benar menemukannya. Ini dapat diperoleh dari tabel-tabel untuk tinggi bintang yang berbeda.

CONTOH 19-3

Sebuah pengamatan Polaris direncanakan mulai pada jam 5:00 sore CST pada tanggal 17 Nopember 1983, pada sebuah stasiun yang lintang dan bujurnya berturut-turut adalah 42°35′U dan 89°28′B. Tentukan sudut tinggi bintang di mana lingkaran vertikal harus dipasang agar ditemukan bintangnya.

1. GCT pengamatan yang direncanakan:

5.00	CST
+12.00	koreksi untuk sistem 24 jam
+ 6.00	koreksi untuk GCT
23.00	GCT, 17 Nopember 1983

2. GHA Polaris (dari almanak astronomis K&E):

21°24,4′ pada jam 0 GCT (Tabel 1, hal. 63)
345°56,7′ koreksi untuk jam 23 (Tabel 5, hal. 72)
367°21,1 − 360° = 7°21,1′ = GHA Polaris pada jam 5:00 sore CST.

3. Sudut meridian Polaris:

$$\begin{aligned} 89°28{,}0' &= \lambda \\ -\ 7°21{,}1' &= \text{GHA} \\ \hline 82°06{,}9' &= t \end{aligned}$$

[Catatan: Sebuah sketsa serupa Gambar 19-10(b) berlaku].

4. Deklinasi Polaris (dari almanak astronomis K&E):

$p = 48{,}47'$ pada jam 0 GCT, 17 Nopember 1983 (Tabel 3, hal. 67)
(perubahan dalam jam 23 diabaikan)

$\delta = 90° - 0°48{,}47' = 89°11{,}53'$

5. Tinggi-bintang-sebenarnya Polaris, dengan Pers. (19-2):

$$h = \text{busur sin}^{-1}(\sin 42^\circ 35' \sin 89^\circ 11{,}53' + \cos 42^\circ 35' \cos 89^\circ 11{,}53' \cos 82^\circ 06{,}9')$$
$$= 42^\circ 41{,}3'$$

6. Koreksi biasan, C (dari almanak astronomis K&E):

$$C = +0^\circ 01{,}1' \text{ (Tabel 2, hal. 65, untuk tinggi bintang } 42°41{,}3')$$

7. Sudut vertikal yang diperlukan untuk membidik bintang:

$$h = 42^\circ 41{,}3' + 0^\circ 01{,}1' = 42°42{,}4'$$

Hitungan h harus dikerjakan sebelum pergi ke lapangan. Kemudian bila instrumen telah dipasang dalam persiapan mengadakan pengamatan, teropong dipumpunkan (difokuskan) suatu sasaran yang jauh (bulan adalah baik sekali bila nampak; kalau tidak, sembarang titik yang jauh sudah cukup). Sudut vertikal hasil hitungan dipasang pada instrumen, teropong diputar ke arah utara kira-kira (yang dapat ditentukan dengan membaca kompas atau menerapkan deklinasi magnetik), dan perlahan-lahan langit dijelajahi hingga diketemukan setitik sinar kecil yaitu Polaris. Penjelajahan hanya memerlukan rentang beberapa derajat pada tiap jurusan dari utara seperti terukur dengan kompas, karena Polaris tak pernah lebih dari 2° jaraknya dari meridian bagi lintang-lintang sampai hampir 70°. Sekali bintang telah ditemukan, teropong dibuat luar biasa dan sebuah tanda dipasang segaris beberapa ratus feet jauhnya dari instrumen untuk memberi arah acuan dalam membidik kembali bintang itu.

19-13. SARAN-SARAN PRAKTIS UNTUK PENGAMATAN POLARIS. Walaupun orang yang berbeda bisa lebih menyukai teknik yang lain, dengan teodolit repetisi atau teodolit kompas prosedur yang disarankan dalam pengamatan terdiri atas pemasangan lingkaran horisontal pada 0°00′; kemudian dengan teropong berkedudukan biasa, bidiklah sebuah tanda dengan penggerak bawah. Bukalah sekrup penggerak atas, bidiklah bintang itu dan catatlah saat tepat pembidikan dan pembacaan lingkaran horisontal serta vertikal. Buatlah kedudukan teropong luar biasa dan dengan gerakan atas bidiklah kembali tanda. (Pembacaan harus tepat 180°; bila ada selisih maka merupakan galat instrumental dan/atau pribadi). Sekrup gerakan atas digunakan lagi untuk membidik bintang, dan data serupa dicatat. Beberapa ulangan pembacaan biasa dan luar biasa dibuat, jumlahnya merupakan fungsi ketelitian yang diperlukan. Catatan pada Contoh 19-1 seharusnya dapat memperjelas prosedurnya.

Saran-saran tambahan berikut ini membuat pengamatan pada Polaris lebih mudah dilaksanakan:

1. Hitunglah dulu tinggi bintang untuk saat mulai pengamatan yang dihadapi.
2. Siapkan formulir catatan lebih dulu sebelum mulai pekerjaan lapangan.
3. Siapkan pemasangan instrumen bila mungkin sewaktu masih siang. Dengan diketahuinya tinggi bintang Polaris, pengamatan dapat mulai sebelum gelap.
4. Sediakan lampu baterai, pemantul dan pensil. Ketelitian pembacaan nonius teodolit kompas menurun di waktu malam, karena penyinaran dari samping mengakibatkan terjadinya paralaks jika lempengan-lempengan tidak pada permukaan yang sama. Peganglah lampu baterai di atas kotak kompas di belakang kepingan gelas-asah tegak dan biarkan sinar membaur melewatinya.

5. Tanda harus nampak pada malam hari, dapat dikenal dan pasti pada siang hari. Jauhnya harus paling sedikit 1 mil bila mungkin untuk menghindari galat instrumental dalam memumpun kembali antara tanda dan bintang, dan sebaliknya dalam bidikan.
6. Sebuah jam yang baik, digital atau dengan jarum detik yang berputar, harus tersedia untuk penentuan waktu dan dicek terhadap tengara waktu radio WWV sebelum dan setelah pekerjaan lapangan.
7. Agar dapat dilakukan pengarahan dalam gelap, benang silang perlu disinari. Ini dapat dikerjakan dengan mengarahkan lampu baterai miring terhadap obyektif teropong. Sinarnya tak boleh terlalu terang, atau bintangnya jadi tak nampak dan tak boleh terlalu suram atau benang silangnya mengabur. Banyak teodolit mempunyai sistem penyinaran dalam dengan baterai khusus untuk menerangi benang silang, lingkaran horisontal, skala mikrometer dan lingkaran vertikal.

19-14. AZIMUT DARI PENGAMATAN MATAHARI. Bila matahari diamati untuk menentukan azimut, persamaan berikut ini, dijabarkan dari rumus cos ilmu ukur segitiga bola, dipakai untuk menghitung sudut Z pada segitiga PZS:

$$Z = \text{busur cos}\left(\frac{\sin\delta - \sin h \sin\phi}{\cos h \cos\phi}\right) \tag{19-3}$$

Sebuah bentuk lain Pers. (19-3) adalah:

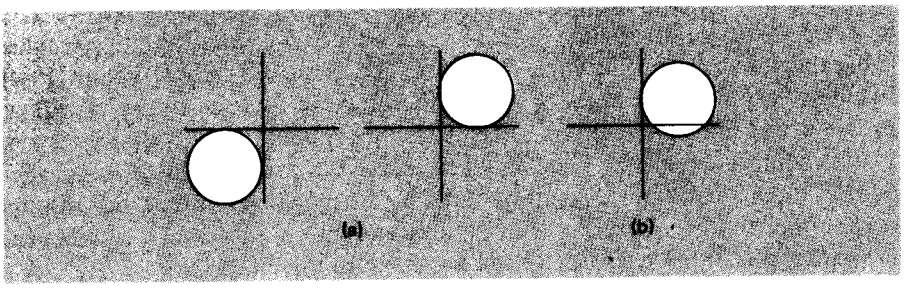
$$Z = \text{busur cos}\left(\frac{\sin\delta}{\cos\phi \cos h} - \text{tg}\ \phi\ \text{tg}\ h\right) \tag{19-4}$$

di mana h adalah tinggi (bintang) matahari sebenarnya dan notasi lainnya seperti dijelaskan sebelumnya.

Juga, lintang dapat diambil dari peta atau diamati, dan deklinasi dipetik dari almanak astronomis untuk saat pengamatan. Karena deklinasi berubah lambat-lambat (tak pernah lebih dari $0{,}1'$ dalam waktu 6 menit), penandaan saat yang saksama tak diperlukan dan ini merupakan keuntungan cara itu. Tinggi bintang sebenarnya adalah harga terukur yang dikoreksi untuk berbagai galat sistematik, yang diterangkan dalam paragraf berikunya. Dalam menyelesaikan Pers. (19-3) atau (19-4), untuk cos Z dapat diperoleh harga positif atau negatif. Untuk pengamatan pagi azimut matahari sama dengan Z; pada petang hari, $360° - Z$.

19-15. METODE-METODE PELAKSANAAN PENGAMATAN MATAHARI DAN KOREKSI-KOREKSINYA. Pengamatan matahari dapat dilaksanakan langsung dengan jalan menempatkan kaca gelap dengan permukaan bidang datar sejajar, di dekat okuler, atau tak langsung dengan menangkap bayangan matahari pada kartu putih tak bergaris dipegang di belakang okuler. Pada cara yang belakangan, teropong diputar pada bidang horisontal sehingga bayang-bayang penopang teodolit kompas dan sumbu teropong (atau bayang-bayang teodolit) menjadi simetris; kemudian teropong diputar ke atas dan ke kebawah sampai bayangan matahari kelihatan dan tajam pada pumpunan tak terhingga. Okuler juga harus diatur untuk memperoleh bayangan benang silang yang tajam di atas kartu. *Melihat ke matahari langsung dengan teropong tanpa kaca gelap akan berakibat kerusakan mata yang tetap.*

Paling sedikit empat pengamatan pada matahari, dua biasa dua luar-biasa, harus dibuat dalam waktu sesingkat-singkatnya pada bola matahari. Prisma-matahari Roelof bila diatur

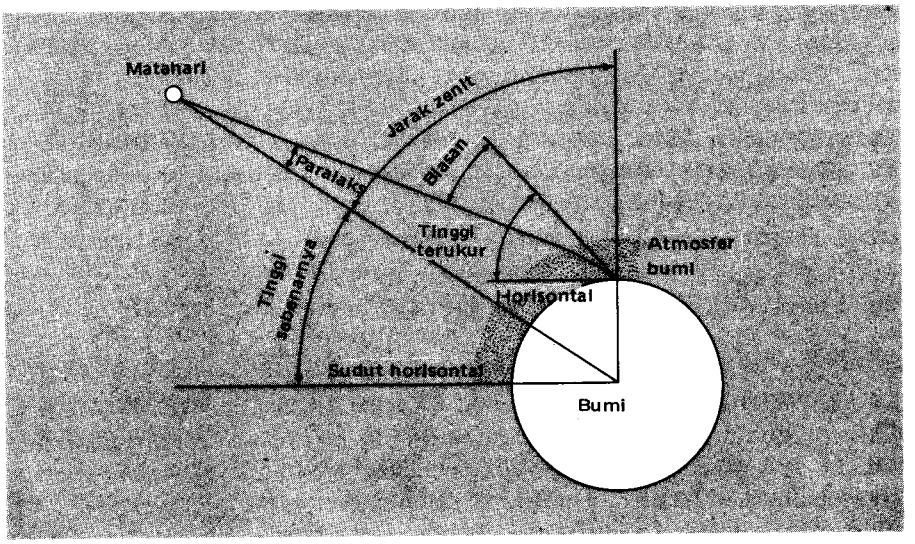


Gambar 19-12. Pengamatan pada matahari.

letaknya dengan baik, menghasilkan empat matahari berpotongan, menyebabkan dapat dibidik pusatnya sampai dalam batas 5 detik. Garis tengah matahari seperti dilihat dari bumi adalah kira-kira 32 menit. Jika prisma Roelof tidak tersedia, membagi dua obyek besar demikian yang bergerak horisontal maupun vertikal adalah sulit, tetapi pengamat rata-rata dapat mengerjakannya dengan ketelitian mungkin 1 menit. Sebuah metode yang lebih baik adalah membidik tepi matahari. Dalam Gambar 19-12(a) piringan dibuat menyinggung kedua benang-silang, pertama dalam satu kuadran dan kemudian pada kuadran yang berhadapan secara diagonal. Dengan mengambil rata-rata kedua pembacaan menghilangkan pertimbangan setengah garis tengah. Untuk menghindari koordinasi gerakan kedua penggerak halus dengan matahari, lebih sederhana mengikuti piringan dengan jalan menjaga agar benang vertikal selalu menyinggung dan membiarkan matahari mendekati sampai menyinggung benang horisontal seperti dalam Gambar 19-12(b).

Tinggi matahari yang nampak adalah jarak sudutnya di atas horison seperti terukur oleh teodolit kompas atau teodolit. Untuk memperoleh tinggi sebenarnya, harga dari pengamatan harus dikoreksi terhadap galat indeks, biasan dan paralaks seperti ditunjukkan dalam Gambar 19-13, dan untuk setengah garis tengah jika tepi hanya dibidik di satu kuadran. Koreksi-koreksi biasan dan paralaks dapat diperoleh dari tabel-tabel. Galat kare-

Gambar 19-13. Tinggi bintang, biasan dan paralaks. Tinggi bintang sebenarnya = tinggi bintang terukur – biasan + paralaks. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).



na belum teraturnya sumbu II dan benang silang dihilangkan dengan membidik kedudukan teropong biasa dan luar biasa. Diperlukan mengatur dengan saksama sumbu I vertikal.

Dalam mengamati matahari, teodolit kompas atau teodolit diorientasikan dengan harga nol atau tertentu pada lingkaran horisontal dengan pembidikan sepanjang garis tertentu dan kedudukan teropong ke sebuah tanda. Setelah pencatatan waktu dan sudut horisontal serta vertikal sebanyak empat pengamatan atau lebih, tanda tadi dibidik lagi untuk memastikan lingkaran masih memberikan pembacaan sebesar harga tadi. Catatan lapangan Contoh 19-4 menggambarkan prosedur ini. Harga rata-rata sudut horisontal ke pusat matahari digabung dengan azimut menengah terhitung untuk memperoleh azimut garis.

Waktu terbaik untuk mengamati matahari untuk azimut adalah antara jam 8 dan 10 pagi atau antara jam 2 dan 4 petang waktu standar (di Amerika Serikat, waktu "daylight" (day light time) 9 -11 dan 3 - 5). Ini karena penyelesaian sudut Z pada segitiga PZS dengan Pers. (19-3) atau (19-4) menjadi amat lemah antara jam 10 pagi dan jam 2 petang sewaktu matahari dekat dengan meridian. Sebelum jam 8 dan setelah jam 4 pengaruh biasan amat kuat terhadap tinggi bintang teramati.

Sebuah alat matahari tempelan, harganya hampir sama dengan sebuah teodolit kompas atau teodolit tingkat rendah, menghasilkan penyelesaian segitiga PZS secara mekanis. Dengan memasang deklinasi, lintang, dan sudut jam pada tiga skala dan membidik matahari, sebuah prosedur mekanis menempatkan teropong pada arah utara-selatan.

19-16. HITUNGAN UNTUK AZIMUT DARI PENGAMATAN MATAHARI. Contoh berikut ini disajikan untuk menjelaskan prosedur dalam menghitung azimut dari pengamatan matahari.

CONTOH 19-4

Untuk serangkaian catatan lapangan berikut ini, hitung azimut garis Rover-Ridge.[3]

⛭ di △ Rover, Lintang 42°45′U, Bujur 73°56′B
30 Juli 1983, Suhu 80°F, Tekanan Udara 28,7 in Hg

TITIK* DIBIDIK	KEDUDUKAN TEROPONG	JAM ARLOJI (EST)	SUDUT VERTIKAL	SUDUT HORISONTAL (ARAH JARUM JAM)
△ Ridge				0°00′
☉ Matahari	Biasa	3 jam 33 menit 10 detik	49°44′	214°08′
☉ Matahari	Biasa	3 jam 34 menit 20 detik	49°32′	214°28′
☉ Matahari	Luar Biasa	3 jam 35 menit 37 detik	49°52′	215°19′
☉ Matahari	Luar Biasa	3 jam 36 menit 49 detik	49°40′	215°37′
△ Ridge				0°00′
Menengah		3 jam 34 menit 59 detik	49°42,0′	214°53,0′

* Yang dipakai adalah teropong bayangan tegak, dan kedudukan bayangan matahari terhadap benang silang seperti terlihat di atas kertas kartu.

PENYELESAIAN

Harga menengah sudut vertikal = 49°42,0′
Koreksi indeks = 00,0′

[3] Sebuah program komputer ditulis dalam BASIC diberikan dalam Apendiks C. Untuk menjelaskan manfaatnya, soal ini telah diselesaikan.

Koreksi paralaks dan biasan
(suhu = 80° F, tekanan udara = 28,7 in)
$-0{,}80'(0{,}97)(0{,}94) + 0{,}09'$ $= -00{,}6'$
(hal. 65 dan 66, almanak astronomis K&E)

1. Tinggi bintang sebenarnya $49°41{,}4'$
EDT pengamatan, sore $= 3^j34^m59^{dt}$
Koreksi jam 0 GCT ke tengah hari $+12^j$
Koreksi untuk EDT (Eastern Daylight Time) $+4^j$
2. GCT pengamatan $= 19^j34^m59^{dt} = 19{,}58^j$

Deklinasi jam 0 GCT, 31 Juli 1983 $= U18°27{,}8'$
(hal. 59, almanak astronomis K&E)
Koreksi untuk 4,42 jam lebih dini = $0{,}61 \times 4{,}42^j$ $+ \quad 02{,}7'$
3. Deklinasi di saat pengamatan $= U18°30{,}5'$

Dengan Pers. (19-4):

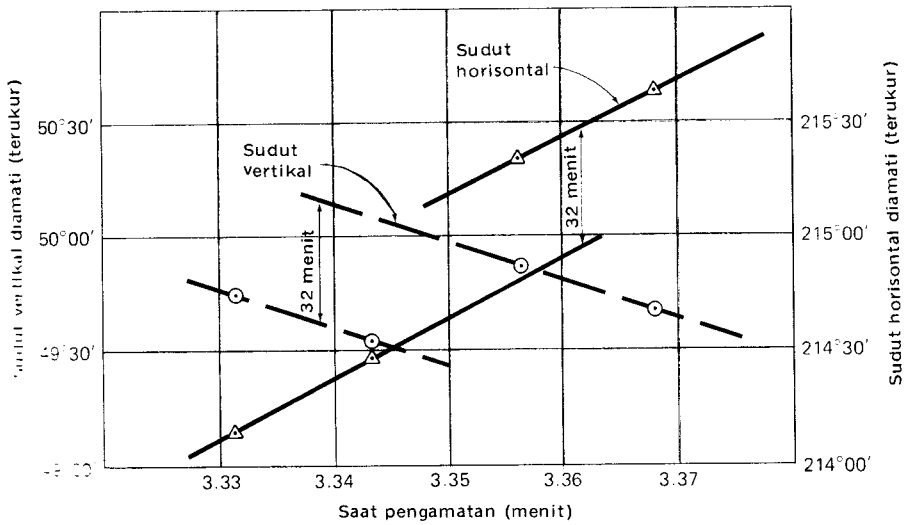
$$\cos Z = \frac{\sin 18°30{,}5'}{\cos 42°45'/\cos 49°41{,}4'} - \operatorname{tg} 42°45' \operatorname{tg} 49°41{,}4'$$
$$= -0{,}421387$$

4. $Z = 114°55{,}4'$

Karena pengamatan dilaksanakan pada sore hari, sudut Z adalah lawan arah jarum jam dari utara, dan tanda minus menunjukkan sudut lebih besar daripada 90°. Jadi, azimut matahari pada waktu pengamatan adalah:

$360°00.0' - 114°55.4' = 245°04{,}6'$
Sudut horisontal, Ridge ke matahari $= 214°53{,}0'$
5. Azimut garis Rover-Ridge $= 30°11{,}6'$

Gambar 19-14. Penggambaran sudut-sudut vertikal dan horisontal terhadap waktu untuk membuktikan kebenaran pengamatan.



Pengamatan matahari dapat diperiksa dengan menggambar sudut-sudut horisontal dan vertikal terhadap waktu dengan cara yang sama dengan yang dijelaskan untuk pengamatan Polaris. Harga-harganya harus membentuk garis lurus. Gambar 19-14 melukiskan penggambaran ini untuk harga-harga pada Contoh 19-4. Perhatikan bahwa sudut-sudut menghasilkan dua pasang garis lurus paralel (sejajar) terpisah sejauh 32 menit pada sudut-sudut horisontal maupun vertikal. Ini benar, karena pengamatan diambil pada tepi matahari yang berhadapan, yang garis tengahnya 32 menit.

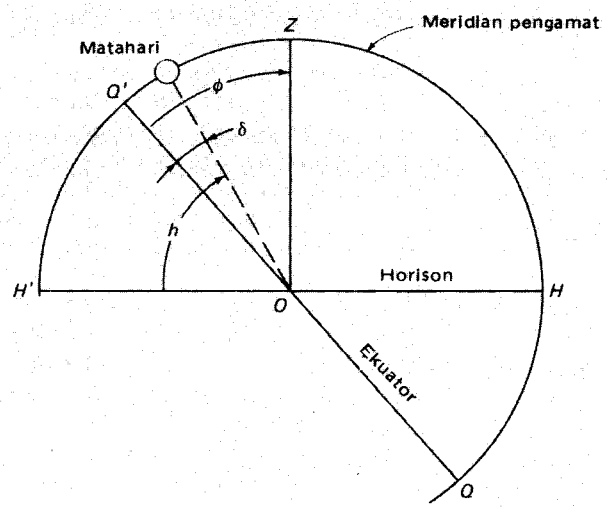
19-17. PENENTUAN LINTANG (LATITUDE) DAN BUJUR (LONGITUDE). Jika tidak tersedia peta untuk mengambil harga lintang dan bujur, keduanya dapat ditentukan secara astronomis. Ada beberapa prosedur yang ada, dan buku-buku teks yang khusus mengenai astronomi lapangan menjelaskan secara terinci. Dalam buku ini hanya satu metode sederhana penentuan masing-masing disajikan untuk memperkenalkan para mahasiswa kepada pokok pembicaraannya.

19-17.1. PENENTUAN LINTANG. Cara pengamatan untuk lintang yang termudah adalah mengukur tinggi matahari pada kulminasi. Sebuah instrumen dapat dipasang pada sebuah stasiun beberapa saat sebelum tengah hari dan diatur sumbu I vertikal dengan cermat. Kemudian matahari diikuti sewaktu tingginya bertambah sampai harga maksimum, di mana saat itu kedudukannya ada pada meridian. Dicatat waktu dan pembacaan lingkaran vertikal. Waktu diperhatikan sampai beberapa menit terdekat sudah cukup, karena hanya deklinasi yang berubah pelan-pelan, akan dihitung menggunakan itu. Gambar 19-15 melukiskan geometrinya, dan dari padanya jelas dapat disusun persamaan berikut ini:

$$\phi = 90^\circ - h + \delta \tag{19-5}$$

di mana h adalah tinggi matahari sebenarnya dikoreksi untuk galat indeks, biasan, paralaks dan setengah garis tengah bila tepi yang diamati. Deklinasi δ diambil dari almanak astronomis untuk waktu pengamatan. Jika di sebelah selatan, tanda negatif harus ditambahkan dalam hitungan-hitungan.

Gambar 19-15. Penentuan lintang dengan pengamatan matahari pada kulminasi.



CONTOH 19-5

Pada tanggal 1 Desember 1983 sebuah teodolit dipasang sebelum tengah hari pada sebuah titik yang tak diketahui lintangnya dan dengan cermat diatur sumbu I vertikal. Memakai prisma Roelof, sudut zenit ke titik pusat matahari pada tinggi maksimumnya terukur sebesar 61°02,7′ pda jam 12.03 siang EST (Eastern Standard Time). Hitunglah lintang tempat.

1. Tinggi matahari sebenarnya:

Tinggi matahari terukur = 90° − 61°02,7′	= 28°57,3′
Biasan (Tabel 2, hal. 65)	− 1,7′
	28°55,6′
Paralaks (Tabel 2, hal. 65)	+ 0,1′
Tinggi matahari sebenarnya	28°55,7′

2. Deklinasi matahari:

Waktu pengamatan	= 12^j03^m EST
Koreksi ke GCT	= + 5^j GCT
	17^j03^m

δ = −21°40,7′ pada jam 0 GCT, 1 Desember 1983 (Tabel 1, hal. 64)
Perubahan = −6,6′ (17,05 jam × 0,39 menit/jam)(Tabel 1, hal. 64).
−21°47,3′ = deklinasi pada waktu pengamatan

3. Hitungan lintang dengan Pers. (19-5):

$$\phi = 90° - 28°55{,}7' + (-21°47{,}3') = 39°17{,}0'$$

Ketelitian lintang yang ditentukan dengan metode ini sangat tergantung pada kesaksamaan instrumen, tetapi harga dalam batas-batas ± 1 menit mungkin saja diperoleh.

19-17.2. PENENTUAN BUJUR. Sebuah metode sederhana untuk menentukan bujur adalah mengukur waktu standar (standard time) yang tepat di mana pusat matahari melewati meridian sebenarnya. Ini dikonversi ke GCT; perata waktu (equation of time) diperlakukan untuk memperoleh GAT (Greenwich apparent time); dan kemudian GAT dikonversi menjadi bujur.

CONTOH 19-6

Titik pusat matahari melewati meridian sebuah tempat pada jam 11.57.19 CST (Central Saving Time) pada tanggal 17 Desember 1983. Tentukan bujur stasiun.

1. Hitung GAT:

Waktu pengamatan, CST	11.57.19
Koreksi pada GCT	6.00.00
GCT pengamatan	17.57.19
Perata waktu, jam 0 GCT, 17 Desember (Tabel 1, hal. 64)	+ 4.20,2
Perubahan dalam perata = 17,96(1,22) (Tabel 1, hal. 64)	− 21,9
GAT pengamatan	18.01.17

2. Konversikan GAT menjadi bujur:

GAT pengamatan	18.01.17
Koreksi, tengah malam ke tengah hari	−12.00.00
	6.01.17 = 6,021389^j

15°/jam × 6,021389 jam = 90°19′15″ bujur barat.

Metode ini dapat menghasilkan bujur yang teliti sampai batas ± 1 menit, tetapi penandaan saat harus sangat saksama, karena galat 4 detik menyebabkan galat kira-kira 1 menit pada bujur.

19-18. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM PENGAMATAN ASTRONOMIS. Sumber-sumber galat dalam pengamatan astronomis adalah:

1. Instrumen kurang teratur sumbu I-nya.
2. Sumbu-II instrumen tidak benar-benar horisontal.
3. Galat indeks tidak dikoreksi.
4. Matahari tidak terbagi dua tepat oleh kedua benang silang.
5. Waktu tidak benar, atau tak terbaca tepat di saat pengamatan.
6. Paralaks dalam pembacaan pada malam hari.

19-19. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan yang lebih umum terjadi dalam pengamatan astronomis adalah:

1. Membidik pada bintang yang keliru.
2. Memakai tengara (tanda) yang buruk pada garis acuan.
3. Kesalahan-kesalahan hitungan.

SOAL-SOAL

19-1. Untuk tujuan-tujuan apakah pengamatan astronomis dilaksanakan dalam ilmu ukur tanah?

19-2. Perlukah melaksanakan pengamatan astronomis pada tiap proyek di mana azimut sebenarnya dibutuhkan? Jelaskan.

19-3. Uraikan dua cara sederhana menentukan meridian sebenarnya yang tak memerlukan hitungan. Uraikan kebaikan dan keburukan metode-metode ini.

19-4. Koordinat sebuah titik di permukaan bumi adalah lintang dan bujur. Apakah koordinat matahari dalam sistem serupa?

19-5. Mengapa waktu yang ditunjuk oleh penunjuk waktu dengan bayangan matahari tidak tepat?

19-6. Berapakah kira-kira tanggal titik (musim) gugur (autumnal equinox)? Musim dingin?

19-7. Kapankah deklinasi matahari 0°00′? Kapan positif?

19-8. (a) Berapakah deklinasi bintang yang melewati zenit pengamat pada lintang 36°25′U? (b) Berapa untuk bintang yang terbit di arah timur pengamat pada lintang 29°15′U?

19-9. Mengapa bulan tidak biasa dipakai untuk pengamatan meridian?

19-10. Apakah zone waktu standar tepat mengikuti interval 15°? Mengapa?

19-11. Jelaskan perolehan dan kehilangan satu hari dalam melewati garis tanggal internasional.

19-12. Apakah alasan adanya waktu matahari sejati maupun menengah?

19-13. Pada tengah hari jam 12 GCT, jam berapakah waktu standar pada bujur berikut ini?
(a) $91^\circ 15'$B (c) $167^\circ 10'$B
(b) $74^\circ 17'$B (d) $120^\circ 50'$B

19-14. Nyatakan selisih bujur di bawah ini dalam pengertian waktu matahari menengah:
(a) $63^\circ 15'$ (b) $97^\circ 38'$
(c) $113^\circ 20' 30''$ (d) $81^\circ 17' 23''$

19-15. Jelaskan apa yang dimaksud dengan perata waktu (equation of time). Bagaimana memakainya?

19-16. Jam berapakah waktu standar pada tanggal 10 Mei tahun ini titik pusat matahari sejati akan ada pada bujur meridian 90°B?

19-17. Jam berapakah waktu standar timur (EST) pada tanggal 5 Maret tahun ini titik pusat matahari sejati akan ada pada bujur meridian $71^\circ 30'$B?

19-18. Untuk seorang pengamat di belakang bumi utara, berapa azimut dan tinggi kutub utara langit?

19-19. Jam berapakah waktu standar untuk lokasi dan keadaan berikut?
(a) EST di New York (bujur $73^\circ 57' 30''$B) bila ketika itu jam 10:03 pagi PST di San Francisco (bujur $122^\circ 45' 54''$B).
(b) PST di San Francisco (bujur $122^\circ 45' 54''$B) bila ketika itu jam 8:57 malam CST di Chicago (bujur $87^\circ 51' 12''$B).

19-20. Bujur Cincinnati adalah $84^\circ 25' 21''$B. Jam berapakah CST di sana bila waktu lokal adalah jam 6:18:15 sore?

19-21. Uraikan dan tunjukkan dengan sketsa sebuah metode untuk menentukan, tanpa memakai tabel atau isntrumen apapun, apakah Polaris ada pada meridian pengamat?

19-22. Tuliskan kebaikan-kebaikan dan kelemahan-kelemahan pelaksanaan pengamatan azimut pada Polaris pada (a) kulminasi dan (b) elongasi.

19-23. Berapakah sudut jam lokal Polaris pada sebuah tempat dengan bujur $92^\circ 39'$B bila sudut jam Greenwich-nya $157^\circ 28'$?

19-24. Hitunglah sudut jam lokal Polaris pada jam 7:30 malam CST pada tanggal 15 Desember tahun ini pada lintang $34^\circ 45'$U dan bujur $88^\circ 36'$B. Berapakah sudut meridian-bintang t pada saat itu?

19-25. Hitunglah tinggi bintang yang harus dipasang pada lingkaran vertikal sebuah teodolit kompas agar dibidik Polaris pada jam 8:00:00 malam PST pada tanggal 12 Nopember tahun ini pada sebuah tempat dengan lintang $42^\circ 13$U dan bujur $119^\circ 47'$B.

19-26. Misalkan delapan pengamatan (4 Biasa dan 4 Luar Biasa) telah dilaksanakan pada Polaris untuk penentuan azimut. Tuliskan data yang harus dicatat dan jelaskan apakah pemeriksaan yang ada untuk membuktikan kebenaran pengamatan-pengamatan itu.

19-27. Hitunglah sudut arah-sebenarnya garis AB untuk keadaan berikut:
(a) Polaris diamati pada kulminasi atas dari stasiun A dengan pembacaan $0^\circ 00'$ pada lingkaran horisontal. Setelah diputar searah jarum jam ke stasiun B, pembacaan lingkaran horisontal adalah $163^\circ 27'$.
(b) Polaris diamati pada kulminasi bawah dari stasiun A dengan pembacaan sebesar $45^\circ 15'$ pada lingkaran horisontal. Setelah berputar searah jarum jam ke stasiun B, pembacaan lingkaran horisontal adalah $318^\circ 52'$.
(c) Polaris diamati pada sembarang sudut jam dari stasiun A dengan pembacaan sebesar $0^\circ 00'$ pada lingkaran horisontal. Setelah berputar searah jarum jam ke stasiun B, pembacaan lingkaran horisontal adalah $213^\circ 48'$. Hitungan menghasilkan sudut arah ke Polaris sebesar U$0^\circ 33'$B untuk saat pembidikan.

19-28. Tentukan deklinasi matahari untuk saat-saat berikut ini:
(a) Jam 9:30 pagi CST, tanggal 10 Pebruari.
(b) Jam 10:15 pagi EDT, tanggal 13 Juni.
(c) Jam 2:08 pagi PDT, tanggal 25 Agustus.
(d) Jam 3:40 sore MST, tanggal 2 Desember.

19-29. Pengamatan biasa dan luar biasa pada sebuah titik tertentu menghasilkan pembacaan sudut vertikal sebesar $+28^\circ 10'$ dan $+28^\circ 06'$. Dengan instrumen yang sama, sebuah pengamatan azimut dengan kedudukan teropong biasa pada titik pusat matahari menghasilkan tinggi bintang $37^\circ 42'$. Jika temperatur (suhu) dan tekanan udara pada saat pengamatan adalah 80°F dan 28,7 in Hg, berapakah tinggi matahari sebenarnya pada saat dibidik?

19-30. Sebutkan kebaikan-kebaikan pengamatan Polaris untuk azimut dibanding dengan matahari.

19-31. Data apakah yang harus dicatat dalam melaksanakan pengamatan matahari untuk azimut?

19-32. Tulislah sisi-sisi segitiga *PZS* yang dipakai dalam menghitung pengamatan matahari untuk azimut, dan berilah sudut-sudut di hadapannya.

19-33. Mengapa saat-saat jam 8 sampai 10 pagi dan jam 2 sampai 4 siang waktu standar paling baik untuk mengadakan pengamatan matahari untuk azimut?

19-34. Sudut vertikal ke pusat matahari, diukur di belahan bumi utara sewaktu melewati meridian pengarah, adalah $+42^\circ 18'$ setelah diberi semua jenis koreksi. Jika deklinasi matahari adalah $-2^\circ 12'$, berapakah lintang pengamat?

19-35. Memakai prisma Roelof, sudut zenit ke matahari pada tinggi maksimum diukur dengan kedudukan teropong $59^\circ 10{,}5'$ pada jam 11:57 pagi MST tanggal 15 Nopember tahun itu. Suhu dan tekanan udara berturut-turut tercatat 38°F dan 29,0 in Hg. Pengecekan instrumen menemukan galat indeks sebesar $+0^\circ 00{,}4'$. Hitunglah lintang pengamat.

19-36. Jam berapakah waktu standar pada tanggal 10 Maret tahun ini matahari sejati akan melewati meridian pengamat pada bujur $91^\circ 05'$B?

19-37. Berapakah lintang pengamat jika tinggi Polaris terukur pada kulminasi atas adalah $41^\circ 07{,}5'$ bila jarak kutub ke bintang adalah $0^\circ 49{,}3'$. (Pada saat pengamatan suhu dan tekanan udara berturut-turut adalah 70°F dan 29,0 in Hg.)

19-38. Anggaplah pusat matahari melewati meridian suatu tempat pada jam 12:10:25 EST pada tanggal 6 Januari tahun ini. Berapakah bujur tempat itu?

19-39. Serupa Soal 19-38, kecuali melewatinya terjadi pada jam 12:46:41 CDT pada tanggal 26 Mei.

DAFTAR PUSTAKA

Buckner, R.B. 1975. "Alasan dan Metode untuk Arah Teliti dalam Pengukuran Tanah." *Surveying and Mapping* 35(no. 4): 305.

Flowe, R.T. 1962. "Instrumen Azimut Gyroskopik untuk Pengukuran." *Surveying and Mapping* 22(no. 2): 271.

Mackie, J.B. 1978. *Unsur-unsur Astronomi untuk Juru-Ukur*, edisi ke 8, London: Charles Griffin.

McDonnell, P.W., Jr. 1982. "Tengara Waktu Radio untuk Pengamatan Astronomik." *Point of Beginning* 7(no. 2): 44.

Mueller, I. 1969. *Astronomi Sferis dan Praktis seperti Terpakai untuk Geodesi.* New York: Ungar.

Rish, R.F. 1980. "Metode-metode Percepatan dalam Pengukuran Tanah Astronomis." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 106(no. SU1): 137.

Schwartz, W.M. 1973. "Hitungan-hitungan Azimut Astronomik pada sebuah Komputer Meja." *Canadian Surveyor* 27(no. 1): 32.

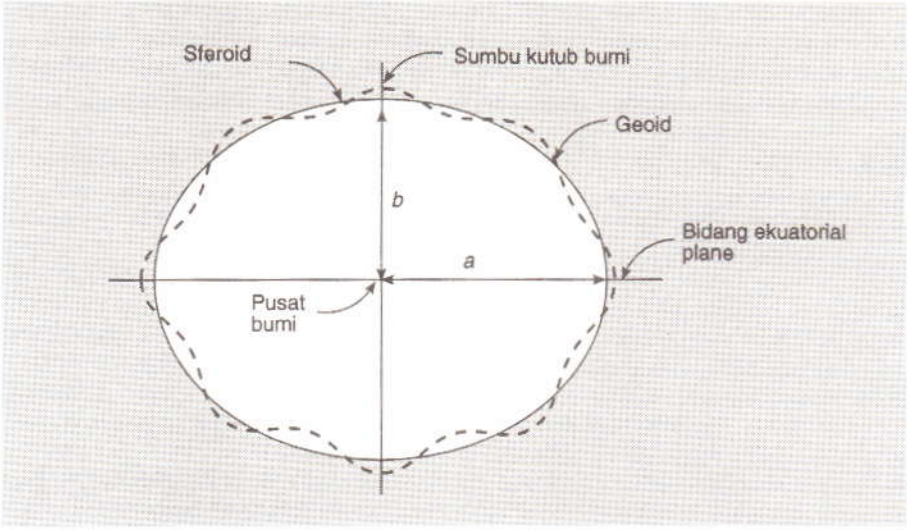
20 PENGUKURAN TITIK KONTROL

20-1. PENGANTAR. Pengukuran titik kontrol menetapkan kedudukan-kedudukan tugu acuan horisontal dan vertikal secara saksama yang berlaku sebagai dasar titik awal atau pengecekan pengukuran-pengukuran lebih rendah guna proyek-proyek seperti pemetaan topografik dan hidrografik; penetapan garis batas pemilikan tanah; serta jalur lintas dan perencanaan, rancangan dan desain konstruksi.

Ada dua jenis umum pengukuran titik kontrol: *horisontal* dan *vertikal*. Pengukuran horisontal pada areal-areal luas biasanya menetapkan lintang dan bujur geodetik stasiun-stasiun. Dari harga-harga ini dapat dihitung koordinat bidang tegaklurus, biasanya dalam sistem koordinat bidang negara bagian atau UTM (lihat Bab 21). Pada pengukuran titik kontrol wilayah-wilayah lebih kecil, koordinat bidang tegaklurus boleh ditentukan langsung tanpa memperoleh lintang dan bujur geodetik.

Untuk menerangkan lintang dan bujur geodetik, perlu ditentukan *sferoid*, yaitu sebuah permukaan matematis yang diperoleh dengan memutar sebuah elips mengelilingi sumbu kutub bumi. Ukuran elips dipilih agar memberikan persesuaian yang baik antara sferoid terhadap *geoid* pada sebuah wilayah luas. Geoid adalah permukaan laut pukul rata, dan di manapun tegaklurus arah gaya berat. Karena adanya keragaman agihan massa bumi, geoid itu berbentuk tak teratur.

Pandangan dua-dimensi geoid dan sferoid ditunjukkan pada Gambar 20-1. Seperti digambarkan, geoid mempunyai perubahan permukaan yang tak seragam (dalam gambar dilebih-lebihkan agar memberi kejelasan) dan karenanya tidak mudah dinyatakan secara matematis. Sferoid Clarke tahun 1866 sesuai dengan sangat baik terhadap geoid di Amerika

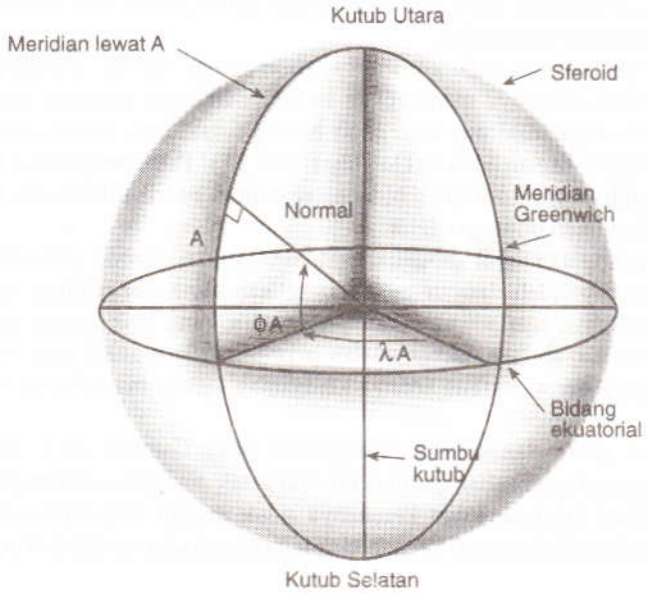


Gambar 20-1. Sferoid dan geoid.

Utara, dan dewasa ini dipakai sebagai bidang acuan untuk menentukan kedudukan geodetik titik-titik di Amerika Serikat, Canada dan Mexico. Setengah sumbu equatorialnya *a* dan setengah sumbu kutubnya *b* adalah berturut-turut 6.378.206,4 m dan 6.356.583,8 m. Jadi, setengah sumbu kutub kira-kira hanya 21,6 km (13,4 mil) lebih pendek daripada setengah sumbu equatorial, sehingga untuk beberapa hitungan yang melibatkan jarak-jarak sedang (biasanya sampai 50 km) dapat dianggap bola sepenuhnya.

Gambar 20-2 memperlihatkan pandangan tiga-dimensi sferoid dan menggambarkan lintang geodetik ϕ_A dan bujur geodetik λ_A untuk sembarang titik A pada sferoid. Lingkaran-lingkaran besar di permukaan sferoid yang melewati kutub-kutub utara dan selatan disebut *meridian;* sembarang bidang datar yang memuat sebuah meridian dan sumbu kutub adalah *bidang meridian.* Lintang geodetik adalah sudut di bidang meridian di mana ada A, antara

Gambar 20-2 Lintang geodetik, ϕA, dan bujur geodetik, λA.



bidang equatorial dan *normal* ke sferoid melalui *A*. Bujur geodetik adalah sudut di bidang equatorial, antara bidang-bidang meridian Greenwich dan meridian lewat *A*. Bujur dan lintang saksama yang menentukan secara teliti kedudukan-kedudukan nisbi titik-titik terpisah jauh ditetapkan dengan memakai teknik-teknik lapangan dan hitungan geodetik.

Prosedur-prosedur lapangan yang dipakai dalam pengukuran titik kontrol horisontal adalah *triangulasi, pengukuran poligon saksama, trilaterasi*, dan gabungan metode-metode dasar ini. Teknik-teknik fotogrametrik yang ketat juga telah dipakai untuk merapatkan titik-titik kontrol di wilayah-wilayah terbatas. Teknik-teknik yang lebih baru menggunakan sistem-sistem kelembaman dan doppler satelit. Pengamatan-pengamatan astronomis juga dilaksanakan untuk menentukan azimut, lintang, dan bujur. Keadaan muka tanah dalam wilayah, persyaratan-persyaratan proyek, peralatan yang tersedia, dan keadaan keuangan biasanya menentukan sistem yang dipilih.

Pengukuran titik kontrol vertikal menetapkan elevasi untuk jaringan tugu-tugu yang disebut *titik tetap duga*. Tergantung pada persyaratan-persyaratan ketelitian, pengukuran titik kontrol vertikal dapat dilakukan dengan sipat datar *barometrik, trigonometrik* atau *memanjang*. Sistem-sistem kelembaman dan doppler satelit sekarang juga dipakai untuk menetapkan titik kontrol vertikal. Metode yang paling teliti dan dipakai secara luas adalah sipat datar saksama memanjang.

20-2. DATUM-DATUM ACUAN. Datum-datum horisontal dan vertikal itu perlu untuk menyediakan sebuah kerangka acuan guna memastikan kedudukan-kedudukan tugu titik kontrol dan elevasi titik tetap duga. Datum horisontal yang dipakai di Amerika Serikat dewasa ini terdiri atas (1) sebuah titik awal ("Meades Ranch" di Kansas) yang mempunyai lintang dan bujur geodetik diketahui, (2) sebuah azimut tetap dari "Meades Ranch" ke sebuah titik "Waldo" yang saling dapat melihat, dan (3) sebuah sferoid dengan ukuran-ukuran yang diketahui. Seperti dikemukakan dalam Paragraf 20-1, yang dipakai adalah sferoid Clarke tahun 1866. Dengan datum ini sebagai sebuah kerangka acuan, sebuah perataan umum dilaksanakan dalam tahun 1927 (yang paling mutakhir) di mana semua tugu titik kontrol yang kemudian ada, digabungkan. Datum ini disebut *Datum Amerika Utara tahun 1927* (North American Datum of 1927, NAD27). Tugu-tugu titik kontrol yang ditetapkan menyusul sesudah ini telah diratakan terhadap stasiun-stasiun yang termasuk dalam perataan tahun 1927.

Sebuah perataan umum baru, yang akan disebut *North American Datum of 1983* (NAD83) sekarang sedang berlangsung. Perataan ini akan memakai sebuah sferoid baru yang disebut Geodetic Reference System 1980 (GRS80), yang setengah sumbu equatorial dan kutubnya berturut-turut kira-kira 6.378.137 m dan 6.356.752 m. Semua pengamatan horisontal yang biasa untuk menetapkan lebih dari 260.000 stasiun di Amerika Serikat, Kanada, Mexico dan Amerika Tengah akan diratakan serentak dengan kuadrat terkecil – sebuah pekerjaan raksasa! Hasil-hasilnya akan diterbitkan dalam bentuk harga-harga yang telah diperbaiki untuk lintang geodetik, bujur geodetik, dan koordinat bidang negara bagian dan UTM dalam satuan-satuan metrik. Perataan ini dipertimbangkan perlu untuk menghilangkan ketaktelitian dan penyimpangan-penyimpangan dalam NAD27 yang berlaku sekarang.

Datum-datum vertikal untuk mengacukan elevasi titik tetap duga disasarkan pada permukaan laut pukul rata. Datum vertikal yang berlaku sekarang di Amerika Serikat adalah *Datum Vertikal Geodetik Nasional tahun 1929* (National Geodetic Vertikal Datum of 1929, NGVD29), karena merupakan tahun perataan umum titik-titik tetap duga paling baru. NGVD29 diperoleh dari sebuah penyesuaian terbaik pengamatan-pengamatan permukaan laut pukul rata yang diambil pada 26 stasiun penduga di Amerika Serikat dan

Kanada. Sejak tahun 1929, lebih dari 625.000 km sipat datar kontrol tambahan telah diukur. Gerakan-gerakan dan merosotnya kulit bumi telah mengubah elevasi banyak titik tetap duga. Untuk menambahkan sipat datar tambahan dan elevasi-elevasi yang benar pada titik-titik tetap duga yang salah, sebuah perataan vertikal umum yang baru sekarang juga sedang berlangsung. Pekerjaan ini akan selesai tahun 1988 dan akan disebut sebagai *Datum Vertikal Amerika Utara tahun 1988* (Nort American Vertical Datum of 1988, NAVD88).

TABEL 20-1. PEMBEKUAN KETELITIAN PENGUKURAN TITIK KONTROL HORISONTAL

ORDE DAN KELAS	KETELITIAN NISBI YANG DIPERLUKAN ANTARA TITIK-TITIK BERDEKATAN HUBUNGAN LANGSUNG
Orde Pertama	1 bagian dalam 100.000
Orde Kedua	
Kelas I	1 bagian dalam 50.000
Kelas II	1 bagian dalam 20.000
Orde Ketiga	
Kelas I	1 bagian dalam 10.000
Kelas II	1 bagian dalam 5.000

20-3. STANDARD KETELITIAN DAN SPESIFIKASI UNTUK PENGUKURAN TITIK KONTROL. Ketelitian yang diperlukan untuk sebuah pengukuran titik kontrol terutama tergantung pada tujuannya. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi ketelitian adalah jenis dan keadaan peralatan yang dipakai, prosedur-prosedur lapangan yang ditempuh, dan pengalaman serta kemampuan petugas yang tersedia. Untuk pegangan para juru-ukur, Panitia Titik Kontrol Geodetik Federal (Federal Geodetic Control Committee, FGCC) telah menyiapkan dan menerbitkan sebuah rangkaian dua-jilid klasifikasi, pembakuan ketelitian, dan spesifikasi.[1] Kepentingannya meliputi dua hal (1) untuk menyediakan serangkaian pembakuan seragam yang menetapkan ketelitian minimum yang dapat diterima dalam pengukuran titik kontrol untuk berbagai tujuan, dan (2) untuk menetapkan spesifikasi instrumen, prosedur lapangan, dan pengecekan kesalahan penutup untuk menjamin tercapainya tingkat ketelitian yang diinginkan.

Pembakuan-pembakuan dan spesifikasi-spesifikasi yang dikembangkan oleh FGCC menetapkan apa yang disebut tiga *orde ketelitian* berbeda yang berikut, diberikan dengan urutan menurun: *orde pertama, orde kedua,* dan *orde ketiga.* Untuk pengukuran titik kontrol horisontal, orde kedua dan orde ketiga masing-masing mempunyai dua kategori ketelitian yang terpisah, *kelas I* dan *kelas II.* Untuk pengukuran vertikal, orde pertama dan orde kedua masing-masing juga mempunyai pembagian ketelitian kelas I dan kelas II. Jadi sejumlah lima kelas dibedakan dalam spesifikasi baik pengukuran titik kontrol horisontal maupun vertikal.

Pengukuran-pengukuran triangulasi, poligon, dan trilaterasi termasuk dalam pembakuan dan spesifikasi titik kontrol horisontal FGCC, tetapi hanya sipat datar memanjang di-

[1] "Klasifikasi, Pembakuan Ketelitian, dan Spesifikasi Umum Pengukuran Titik Kontrol Geodetik" dan sebuah warkah pendamping, "Spesifikasi-spesifikasi untuk Mendukung Klasifikasi, Pembakuan Ketelitian, dan Spesifikasi Umum Pengukuran Titik Kontrol Geodetik," dapat diperoleh dari Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

cakup dalam bagian titik kontrol vertikal.

Tabel 20-1 dan 20-2 memberikan *ketelitian-ketelitian nisbi* antara titik-titik berdampingan yang dihubungkan langsung yang disyaratkan oleh FGCC untuk berbagai orde dan kelas.

Keberhasilan terakhir sembarang proyek rekayasa atau pemetaan tergantung pada titik kontrol pengukuran yang tepat. Makin tinggi orde ketelitian yang dituntut, makin banyak waktu dan biaya diperlukan. Oleh karena itu penting untuk memilih orde ketelitian yang tepat untuk sebuah proyek yang diberikan dan menepati spesifikasi-spesifikasinya dengan cermat. Perhatikanlah bahwa tak menjadi soal bagaimanapun telitinya sebuah pengukuran titik kontrol dilaksanakan, galat-galat akan ada dalam kedudukan stasiun yang dihitung, tetapi orde ketelitian yang lebih tinggi menganggap galat-galatnya lebih kecil.

TABEL 20-2. PEMBEKUAN KETELITIAN PENGUKURAN TITIK KONTROL - VERTIKAL

ORDE DAN KELAS	KETELITIAN NISBI (GALAT STANDAR) YANG DIISYARATKAN ANTARA TITIK-TITIK TETAP DUGA YANG DIHUBUNGKAN LANGSUNG
Orde Pertama	
Kelas I	0,5 mm x $\sqrt{K}$
Kelas II	0,7 mm x $\sqrt{K}$
Orde Kedua	
Kelas I	0,1 mm x $\sqrt{K}$
Kelas II	1,3 mm x $\sqrt{K}$
Orde Ketiga	2,0 mm x $\sqrt{K}$

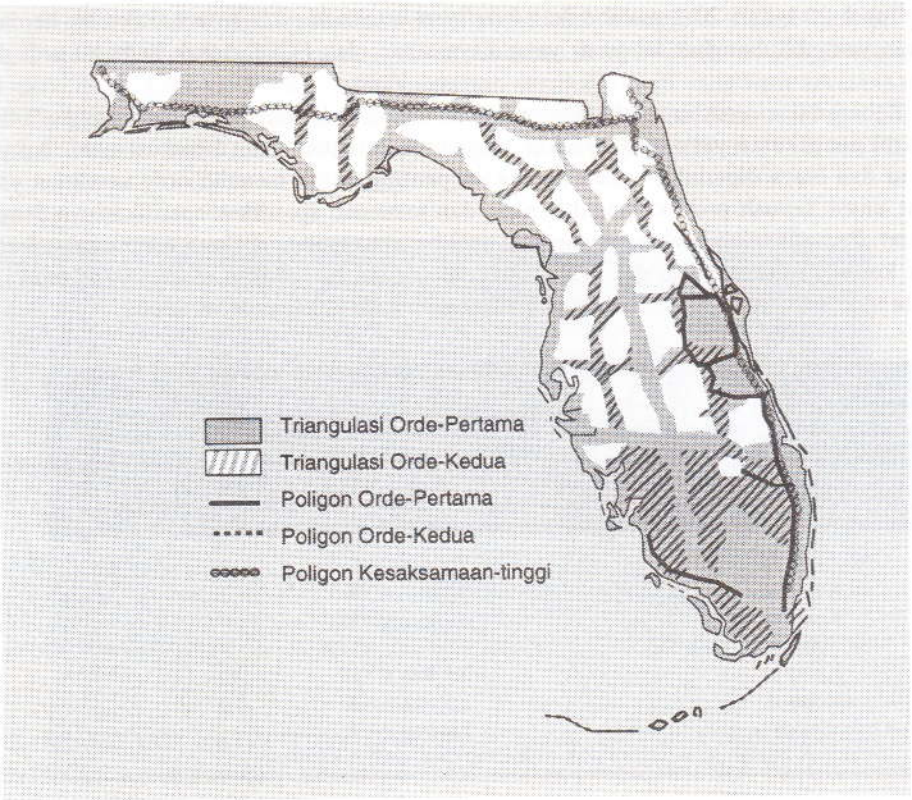
dimana K adalah jarak antara titik-titik tetap duga dalam kilometer.

20-4. JARINGAN TITIK KONTROL NASIONAL. Untuk memenuhi berbagai kebutuhan para juru ukur, insinyur dan ilmuwan lokal, pemerintah federal telah menetapkan sebuah Jaringan Titik Kontrol Nasional yang terdiri lebih dari 250.000 buah tugu titik kontrol horisontal dan kira-kira 500.000 buah titik tetap duga di seluruh Amerika Serikat. National Geodetic Survey (NGS) memulai operasi pengukuran titik kontrol sebagai Pengukuran Pantai (Survey of the Coast) pada tahun 1807, diubah menjadi Coast Survey dalam tahun 1836, menjadi Coast and Geodetic Survey pada tahun 1878 dan menjadi bagian dari National Ocean Survey (NOS) pada tahun 1970. Badan ini terus menerus mengirim ragu-ragu lapangan ke seluruh negara bagian untuk menetapkan stasiun-stasiun titik kontrol baru dan menatar serta memelihara titik-titik yang sudah ada.

Jaringan Titik Kontrol Nasional terbagi menjadi bagian *horisontal* dan *vertikal*. Semua titik kontrol dalam masing-masing bagian diklasifikasikan menurut tingkat yang berdasar pada tujuan dan peringkat ketelitian.

20-5. HIRARKI JARINGAN TITIK KONTROL HORISONTAL NASIONAL. Hirarki titik kontrol dalam Jaringan Titik Kontrol Horisontal Nasional, dari peringkat tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:

Titik Kontrol Primer. Terutama terdiri atas busur-busur triangulasi barat-timur yang berselang kira-kira 100 km, dipotong oleh busur-busur utara-selatan dengan selang yang sama. Di samping triangulasi, telah dipakai poligon dan trilaterasi dan yang lebih mutakhir adalah metode-metode *doppler* (lihat Paragraf 20-15). Titik-titik kontrol primer ditetapkan dengan metode-metode orde pertama.



Gambar 20-3. Busur-busur triangulasi primer dan sekunder serta jaringan poligon di Florida. (Dikutip dari peta National Geodetic Survey).

Titik Kontrol Sekunder. Merapatkan jaringan dalam wilayah yang dibatasi oleh titik kontrol primer, terutama di wilayah-wilayah yang tanahnya berharga tinggi. Pengukuran titik kontrol sekunder dilaksanakan menurut pembakuan orde kedua, kelas I; memakai triangulasi, poligon, dan trilaterasi; dan diratakan serentak dengan jaringan primer sehingga memperkuatnya.

Titik Kontrol Pelengkap Secara umum bertujuan merapatkan titik kontrol antara jaringan primer di wilayah-wilayah yang belum banyak berkembang. Titik kontrol pelengkap juga ditempatkan sepanjang garis pantai dan pada proyek-proyek pemetaan dan konstruksi yang luas. Pengukuran titik kontrol pelengkap berawal pada stasiun-stasiun jaringan primer dan kadang-kadang sekunder, sedangkan pelaksanaannya menurut pembakuan orde-kedua, kelas II.

Titik Kontrol Lokal. Titik kontrol lokal merupakan titik-titik acuan untuk proyek-proyek konstruksi lokal dan pemetaan topografik skala-kecil. Pengukuran-pengukuran ini diikatkan pada tugu-tugu titik kontrol yang ordenya lebih tinggi dan, tergantung pada persyaratan ketelitiannya dapat berupa orde ketiga kelas I, atau orde ketiga kelas II.

Gambar 20-3 menunjukkan lokasi-lokasi busur triangulasi primer dan pengukuran-pengukuran pelengkap sekunder yang merapatkannya di Florida.

20-6. HIRARKI JARINGAN TITIK KONTROL VERTIKAL NASIONAL. Skema titik-titik-tetap-duga dalam Jaringan Titik Kontrol Vertikal Nasional dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kerangka Dasar. Jaringan titik-titik-tetap-duga yang teragih rata di seluruh negara, dengan elevasi-elevasi ditentukan sampai tingkat ketelitian orde tertinggi. Kerangka ini terdiri atas jaringan *A* dan *B*. Dalam jaringan *A*, titik-titik-tetap-duga yang berdampingan berjarak rata-rata sekitar 100 sampai 300 km memakai patokan-patokan orde-pertama, kelas I; dalam jaringan *B* pisahan rata-rata adalah sekitar 50 sampai 100 km dan dipakai patokan-patokan orde-pertama, kelas-II.

Jaringan Sekunder. Merapatkan kerangka dasar, terutama di wilayah metropolitan dan untuk proyek-proyek rekayasa yang besar. Jaringan ini dibuat dengan patokan-patokan orde kedua, kelas-I.

Titik Kontrol Wilayah Umum. Titik kontrol vertikal untuk proyek-proyek pemetaan, pengukuran dan rekayasa lokal. Titik kontrol ini ditetapkan dengan patokan-patokan orde-kedua, kelas II.

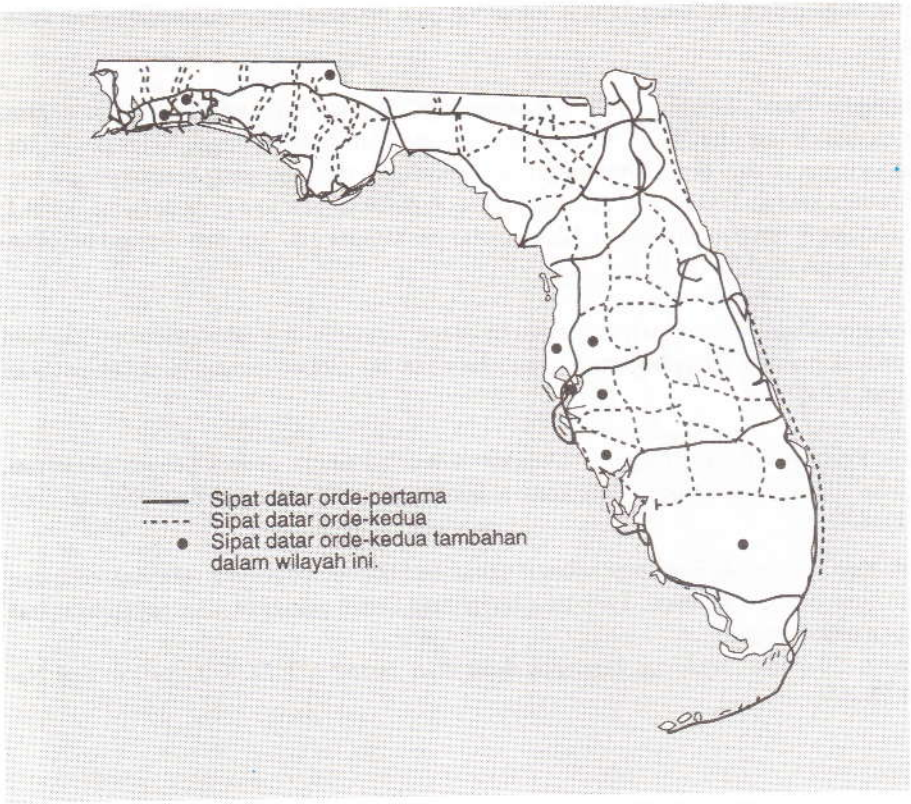
Titik Kontrol Lokal. Berfungsi sebagai acuan untuk proyek-proyek rekayasa kecil dan pemetaan topografik skala kecil. Titik-titik-tetap-duga dalam golongan ini memenuhi syarat pembakuan orde-ketiga.

Gambar 20-4 menunjukkan kerangka dasar dari Jaringan Titik Kontrol Vertikal Nasional di Florida.

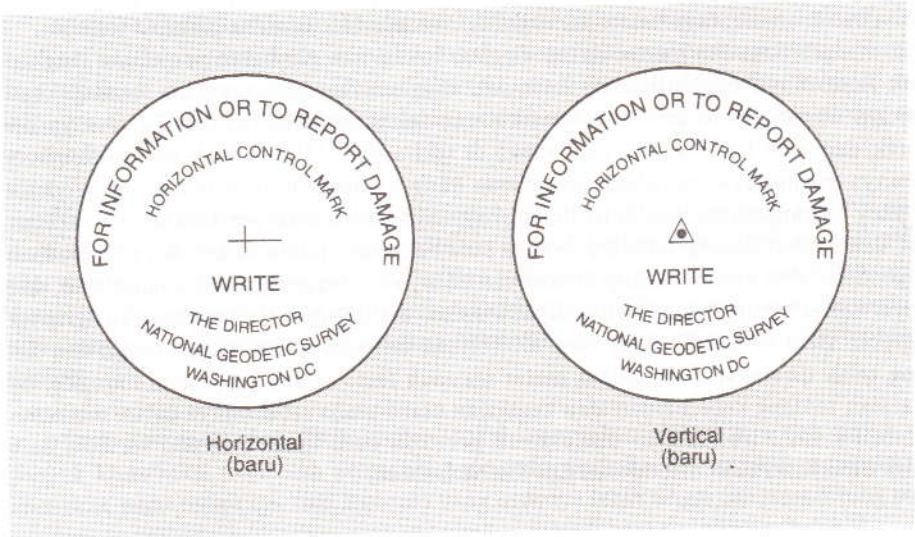
20-7. DESKRIPSI TITIK KONTROL. Untuk memperoleh manfaat maksimum dari pengukuran-pengukuran titik kontrol, semua stasiun dan titik tetap duga ditempatkan pada lokasi-lokasi yang menguntungkan pemakaian berikutnya, dan dilengkapi dengan penjelasan-penjelasan cukup. Titik-titik kontrol ini harus dinyatakan dengan tugu-tugu tetap untuk menjamin agar mudah dicari kembali oleh para pemakai di kemudian hari. Jaringan Titik Kontrol Nasional dipasang oleh NGS berupa piringan perunggu bergaris tengah kira-kira $3\frac{1}{2}$ in pada beton atau batuan dasar. Gambar 20-5 memperlihatkan dua piringan tersebut.

NGS menerbitkan dan menyediakan diagram lokasi dan gambaran penjelasan lengkap titik-titik kontrolnya bagi juru-ukur setempat. Diagram dan gambaran ini menunjukkan letak secara umum, nisbi terhadap kota-kota terdekat, serta kedudukan khususnya dengan jarak dan arah ke beberapa tugu acuan di sekitarnya.[2] Untuk titik kontrol horisontal, biasanya mempunyai penjelasan-penjelasan yang meliputi lintang dan bujur geodetik stasiun yang bersangkutan, koordinat bidang negara bagian, elevasi pendekatan, dan azimut geodetik dan azimut bidang terhadap sebuah atau beberapa stasiun di dekatnya. Perbedaan azimut geodetik dan azimut bidang disebabkan adanya konvergensi meridian-meridian, dan karenanya azimut yang benar harus dipilih untuk metode-metode pengukuran tertentu yang dipakai. Data titik-tetap-duga yang diterbitkan meliputi lokasi-lokasi stasiun dan elevasi yang telah diratakan baik dalam meter maupun feet. Semua penjelasan mungkin disertai catatan tentang keberhasilan atau kegagalan usaha-usaha sebelumnya dalam menemukan kembali stasiun itu. Setelah diselesaikan perataan baru horisontal dan vertikal, data yang telah diperbaiki akan diterbitkan dan disebarluaskan.

[2] Permintaan data titik kontrol di suatu wilayah tertentu dapat ditujukan kepada National Geodetic Information Center, National Ocean Survey, 6001 Executive Blod., NOAA, Rockville, MD 20852.



Gambar 20-4. Kerangka dasar dan jaringan-jaringan sekunder pada Jaringan Titik Kontrol Vertikal Nasional di Florida. (Dikutip dari peta National Geodetic Survey).



Gambar 20-5. Piringan-piringan perunggu yang dipakai oleh National Geodetic Survey untuk menandai stasiun-stasiun titik kontrol horisontal dan vertikal.

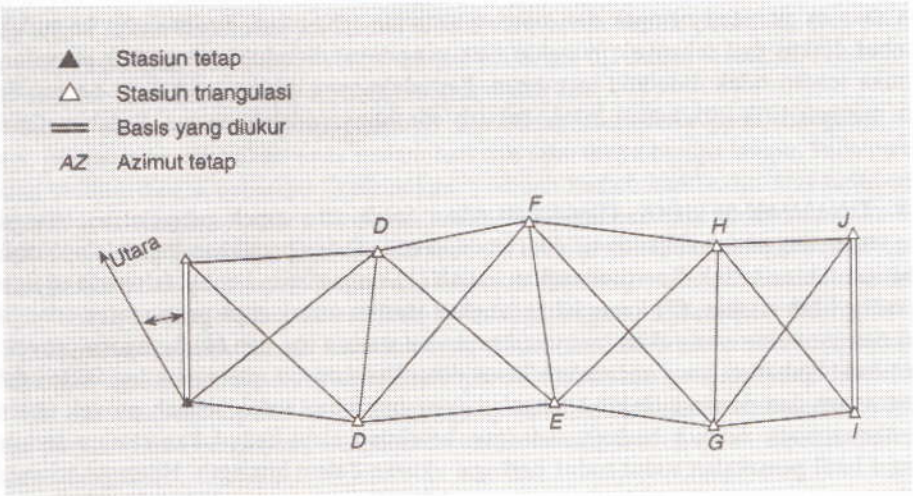
Selain titik kontrol dalam jaringan nasional yang dipasang oleh NGS, tanda-tanda tambahan juga telah dipasang di berbagai tempat di Amerika Serikat oleh badan-badan federal lainnya seperti U.S. Geological Survey, Corps of Engineers, dan Tennessee Valley Authority. Demikian pula instansi-instansi negara bagian, county, dan kota telah menambah titik kontrol. Pekerjaan ini sering dikoordinasikan melalui NGS, dan penjelasan-penjelasan stasiun-stasiunnya disebarluaskan oleh badan itu.

20-8. TRIANGULASI. Sebelum ada peralatan ukur-jarak elektronik, triangulasi merupakan metode pokok yang lebih disukai untuk pengukuran-pengukuran titik kontrol horisontal, terutama bila akan diliput wilayah yang luas. Sudut dapat diukur lebih mudah dibanding dengan jarak, terutama bila menghadapi garis panjang melalui tanah bergunung dan berhutan, dengan mendirikan menara Bilby yang sangat serbaguna. Metodenya memiliki sejumlah besar persyaratan penutup dan pengecekan melekat yang membantu dalam mendeteksi kesalahan besar dan galat dalam data lapangan dan meningkatkan kemungkinan untuk memenuhi standar ketelitian yang tinggi.

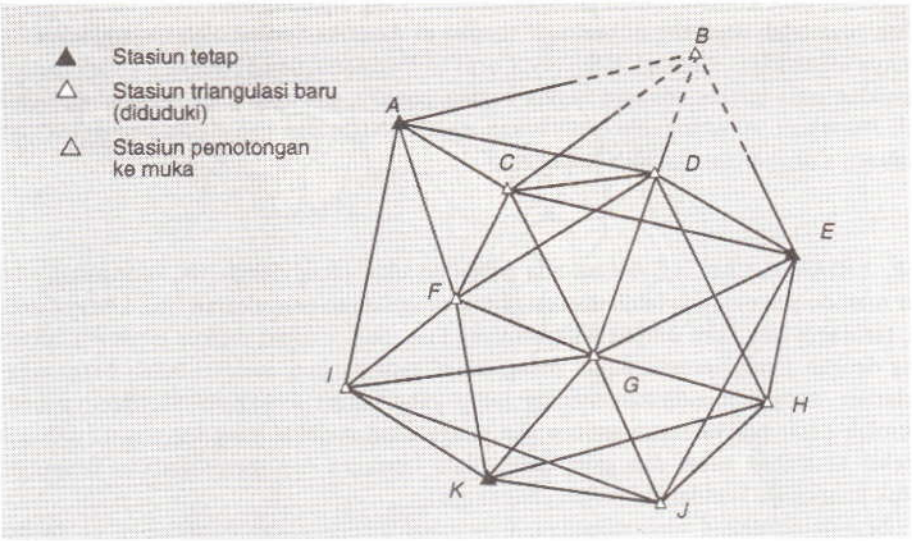
Seperti dimaksud oleh namanya, triangulasi menggunakan bentuk-bentuk geometrik yaitu segitiga-segitiga. Sudut-sudut horisontal dan sejumlah terbatas sisi yang disebut *basis* adalah unsur-unsur yang diukur. Dengan memakai sudut-sudut dan panjang basis, segitiga diselesaikan secara ilmu ukur segitiga (trigonometri) dan kedudukan-kedudukan stasiun dihitung sebagai titik di muka sisi.

Berbagai bentuk geometrik yang berbeda telah dipakai dalam perluasan titik kontrol dengan triangulasi, tetapi yang paling umum adalah rantai segiempat yang disebut *busur-busur* (Gambar 20-6). Bentuk ini adalah bentuk geometrik paling sederhana yang memungkinkan pengecekan penutup secara ketat dan perataan galat pengamatan lapangan, dan memungkinkan kedudukan titik dapat dihitung dari dua jalur terpisah untuk pengecekan hitungan. Bentuk-bentuk yang lebih ruwet seperti digambarkan dalam Gambar 20-7 sering dipakai untuk menetapkan titik kontrol horisontal dengan triangulasi di wilayah metropolitan.

Busur-busur triangulasi berpangkal dari satu atau lebih stasiun yang diketahui atau tertentu kedudukannya dan memerlukan paling sedikit azimut sebuah garis. Jika tertentu dua



Gambar 20-6. Rantai segiempat.



Gambar 20-7. Jaringan triangulasi untuk pengukuran titik kontrol metropolitan.

stasiun atau lebih, orientasi azimut jaringan dengan sendirinya sudah tertentu. Dewasa ini, stasiun awal dengan azimut pangkal yang tertentu biasanya diperoleh dari pengukuran titik kontrol orde-lebih-tinggi sebelumnya. NGS menetapkan kedudukan awal dan azimut untuk jaringan nasional dari pengamatan astronomis, yang juga dilaksanakan pada berbagai interval di seluruh busur yang luas untuk mengecek dan melengkapi pengukuran-pengukuran sudut dan basis serta membantu mempertahankan orientasi azimut yang sebenarnya. Dalam Gambar 20-6, busur triangulasi berpangkal dari stasiun tetap *A* dan memakai azimut garis *AB* yang diketahui. Semua sudut horisontal dalam busur, dan basis-basis *AB* dan *IJ* telah diukur. Dari keterangan ini, kedudukan stasiun-stasiun *B* sampai dengan *J* telah dihitung.

Dalam melaksanakan pengukuran triangulasi, sudah biasa dilakukan sejumlah *pemotongan ke muka* sebagai bagian proyek. Stasiun pemotongan ke muka adalah sasaran tinggi yang menonjol dalam suatu wilayah, misalnya ujung puncak menara gereja, cerobong asap, atau menara air yang nampak dari beberapa stasiun triangulasi. Sudut-sudut ke titik-titik tersebut diukur dari sebanyak mungkin titik yang dapat diduduki, tetapi titik pemotongan kemuka sendiri tidak diduduki instrumen. Kedudukannya dihitung sehingga dengan demikian menjadi titik-titik acuan lokal. Sebuah contohnya adalah stasiun *B* dalam Gambar 20-7.

20-9. TINJAUAN-SELIDIK TRIANGULASI. Salah satu aspek pengukuran triangulasi yang terpenting adalah tinjauan-selidik (reconnaissance) dan pemilihan lokasi-lokasi stasiun. Beberapa faktor untuk dipertimbangkan adalah (1) kemantapan bentuk (strength of figure), (2) saling lihat stasiun, (3) kemudahan-jangkau stasiun untuk regu pengamatan triangulasi awal dan juru-ukur yang akan menyusul memakai stasiun itu, dan (4) dayaguna proyek keseluruhan. Perhatian yang mendalam harus diberikan kepada masing-masing faktor dalam perencanaan dan desain jaringan triangulasi yang optimum untuk sebuah proyek tertentu.

Kemantapan bentuk berkaitan dengan ketelitian nisbi kedudukan stasiun terhitung sebagai hasil pemakaian sudut-sudut berbagai ukuran dalam hitungan. Hitungan triangulasi berdasar pada *rumus sin* pada ilmu ukur segitiga. Fungsi sin berubah cukup besar untuk sudut-sudut dekat 0° dan 180°, sehingga sebuah galat pengamatan kecil pada sebuah sudut

yang dekat dengan 0° dan 180°, menghasilkan perbedaan yang nisbi besar dalam hitungan kedudukan. Sebaliknya, sin sudut-sudut dekat 90° berubah sangat lambat; jadi, sebuah galat pengamatan yang kecil dekat 90° menyebabkan perubahan kecil dalam kedudukan terhitung. Karena diharapkan ada galat pengamatan yang sama untuk masing-masing sudut, desain bentuk triangulasi yang mempunyai ukuran sudut-sudutnya menguntungkan, meningkatkan ketelitian triangulasi secara keseluruhan.

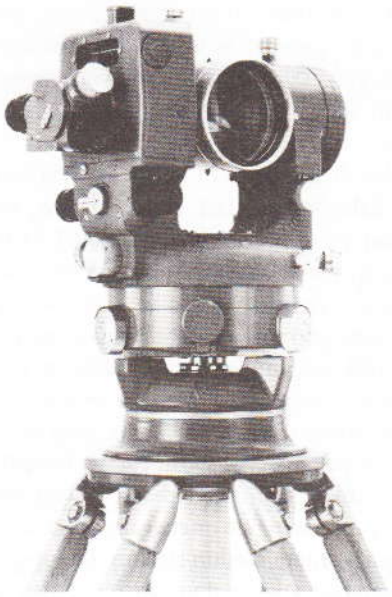
Prosedur teliti di luar batas liputan buku ini telah dikembangkan untuk menilai kemantapan nisbi bentu-bentuk geometrik yang dipakai dalam triangulasi. Secara umum, sudut-sudut mendekati 90° adalah optimum dan jika tidak ada sudut-sudut lebih kecil daripada 30° atau lebih besar daripada 150° dalam hitungan, maka bentuk sudah cukup mantap. Lokasi stasiun-stasiun triangulasi menentukan besarnya sudut sehingga harus direncanakan dengan cermat agar diperoleh kemantapan bentuk yang maksimum. Jika keadaan permukaan tanah setempat atau keadaan-keadaan lain tidak memungkinkan terjadinya bentuk dengan sudut-sudut yang baik, maka diperlukan pengukuran basis yang lebih sering.

Saling lihat antar stasiun adalah penting sekali dalam triangulasi karena garis bidik ke semua stasiun pada sebuah bentuk harus jelas untuk pengukuran sudut-sudut. Penentuan-penentuan awal untuk penempatan stasiun dapat dikerjakan pada peta-peta topografik yang ada. Punggung-punggung bukit penghalang yang mungkin mengganggu garis bidik dicek dengan menggambar profil irisan sepanjang garis antara stasiun-stasiun. Pohon-pohon pada garis dan, untuk jarak panjang, pengaruh gabungan kelengkungan bumi dan pembiasan, adalah faktor-faktor tambahan yang mempengaruhi saling lihat antar stasiun. Setelah ada penentuan awal lokasi-lokasi stasiun, harus dilaksanakan pengujian visual dengan mendatangi masing-masing kedudukan yang direncanakan. Stasiun-stasiun biasanya ditempatkan pada titik tertinggi di suatu wilayah dan bila perlu dibangun menara untuk meninggikan teodolit, pengamat dan sasaran di atas stasiun di tanah. Karena ketidakpastian pembiasan dekat permukaan tanah, garis bidik harus dibuat agar paling sedikit 10 ft di atasnya dan tidak menyinggung punggung-punggung bukit di antara stasiun-stasiun.

20-10. PENGUKURAN LAPANGAN UNTUK TRIANGULASI. Seperti dikemukakan sebelumnya, pengukuran lapangan dasar untuk triangulasi adalah sudut-sudut horisontal dan panjang basis. Sudut-sudut dapat diukur dengan instrumen repetisi, atau sangat mungkin dengan teodolit arah semacam Kern DKM-3 (Gambar 20-8) yang mempunyai kepekaan nivo lingkaran horisontal sebesar 10-sekon/2-mm pembagian, atau Wild T-3 dengan gelembung nivo 7-sekon kepekaannya. Kedua teodolit itu cocok untuk pekerjaan orde-pertama dan memungkinkan pembacaan sudut sampai perkiraan 0,1 sekon terdekat. Teodolit-teodolit orde-lebih rendah lainnya dibicarakan dalam Bab 10.

Untuk mengurangi pengaruh-pengaruh pembiasan atmosferik pada triangulasi orde-tinggi, pengamatan dilakukan pada malam hari dan sasarannya berupa lampu. Pada masing-masing stasiun dibaca beberapa "kedudukan"; sebuah kedudukan terdiri atas sudut-sudut atau arah-arah teragih sekeliling lingkaran horisontal instrumen baik pada kedudukan biasa maupun teropong luar biasa. Bila dipakai teodolit arah, untuk menghilangkan galat karena kemungkinan salah pembagian lingkaran, lingkaran dipasang pada pembacaan mendekati $180°/n$ untuk masing-masing kedudukan berturutan (seperti dibicarakan dalam Paragraf 11-9), di mana n adalah jumlah kedudukan di sebuah stasiun. Sudut-sudut harus dihitung di lapangan dari arah-arah, dicek untuk memperoleh kesalahan penutup yang dibolehkan, dan bila ada yang tak dipakai harus diulang pengukurannya sebelum meninggalkan stasiun. Harga purata semua harga yang memuaskan untuk masing-masing sudut dipakai dalam hitungan triangulasi.

Dewasa ini basis lebih disukai diukur dengan metode elektronik yang menghasilkan ketelitian amat baik. Pita Invar saksama dapat pula dipakai. Beberapa pengukuran harus



Gambar 20-8. Kern DKI-3 teodolit arah yang cocok untuk pengukuran titik kontrol orde-pertama. (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.)

dilaksanakan dari kedua jurusan. Jarak-jarak miring harus direduksi ke horisontal dan dihitung panjang pada permukaan laut pukul rata. Jika hitungan melibatkan koordinat bidang negara bagian, jarak permukaan laut diubah menjadi jarak kisi (grid) dengan menggunakan faktor skala (lihat Paragraf 21-5).

20-11. PERALATAN TRIANGULASI (TRIANGULATION ADJUSTMENT). Galat-galat yang terjadi dalam pengukuran sudut dan jarak memerlukan peralatan. Metode yang paling teliti menggunakan kuadrat terkecil. Dalam prosedur itu, semua pengukuran sudut dan jarak atau pengamatan azimut dapat dengan serentak dicakup dalam perataan, dan ditangani sepanjang bentuk konfigurasi segi-empat atau yang lebih rumit untuk memperoleh kedudukan stasiun dengan kementakan maksimum. Teorinya termasuk di luar cakupan pembicaraan ini.

Metode-metode pendekatan lainnya untuk perataan triangulasi, dengan mudah diterapkan pada bentuk-bentuk baku seperti segiempat, juga memberikan hasil yang memuaskan dan dijelaskan dalam buku-buku pengukuran tanah lanjutan.

20-12. POLIGON SAKSAMA (PRECISE TRAVERSE). Pengukuran poligon saksama biasa dilakukan oleh juru-ukur setempat untuk perluasan titik kontrol horisontal terutama untuk proyek-proyek terbatas. Pekerjaan lapangan terdiri atas dua bagian dasar: pembacaan sudut-sudut horisontal pada patok poligon dan pengukuran jarak antara stasiun-stasiun. sudut-sudut dapat diperoleh dengan instrumen repetisi atau instrumen arah (reiterasi) dan jarak-jarak diukur dengan peralatan EDM (*pengukuran poligon elektronik*) atau pengukuran dengan pita. Poligon saksama selalu jenis tertutup.

FGCC telah menetapkan pembakuan dan spesifikasi untuk lima orde ketelitian poligon. Kelas-kelas orde-pertama dan orde-kedua melengkapi Jaringan Titik Kontrol Horisontal Nasional, terutama di mana diperlukan kerapatan yang lebih besar daripada yang dapat dihasilkan oleh triangulasi. Poligon-poligon orde-kedua dan ketiga dilaksanakan secara luas untuk merapatkan titik kontrol di wilayah metropolitan untuk proyek-proyek rekayasa

dan rancang-bangun (konstruksi), pengukuran hak milik, pengukuran fotogrametrik udara, dan banyak proyek lainnya.

Berbeda dengan triangulasi di mana stasiun-stasiun biasanya jauh terpisah dan ditempatkan pada punggung atau puncak tertinggi di sebuah wilayah, jalur poligon biasanya mengikuti jalur lapang hak lewat pada jalan raya dan jalan baja, sedangkan letak stasiun-stasiunnya nisbi dekat satu sama lain. Selain memudahkan pekerjaan lapangan, ini memberikan keuntungan kedua yaitu kemudahan jangkau stasiun-stasiunnya. Poligon tidak mempunyai pengecekan dengan sendirinya seperti yang melekat pada triangulasi, dan oleh karena itu pengamatannya harus amat cermat untuk menghindari kesalahan besar. Juga, karena poligon biasanya dikerjakan sepanjang garis tunggal, maka tidak sebaik triangulasi untuk menetapkan titik kontrol pada wilayah luas.

Prosedur untuk hitungan poligon saksama bermacam-macam, tergantung pada apakah dipakai sistem acuan geodetik atau bidang datar. Dalam kasus manapun, pertama perlu perataan sudut dan jarak untuk galat pengamanatan. Persyaratan kesalahan penutup dapat diterapkan untuk (1) azimut atau sudut, (2) komponen ordinat, dan (3) komponen absis. Proses yang paling ketat yaitu metode kuadrat terkecil, harus dipakai karena dengan serentak memenuhi ketiga persyaratan dan menghasilkan residual paling memungkinkan menurut teori kementakan. Sistem-sistem lain yang kurang saksama seperti cara kompas (Metode Bowditch) (lihat Paragraf 13-7) kadang-kadang dipakai.

Dalam menghitung koordinat bidang negara bagian, perlu diadakan reduksi jarak-jarak horisontal dari pengamatan menjadi jarak kisi sebelum melaksanakan hitungan, seperti dijelaskan dalam Paragraf 21-5.

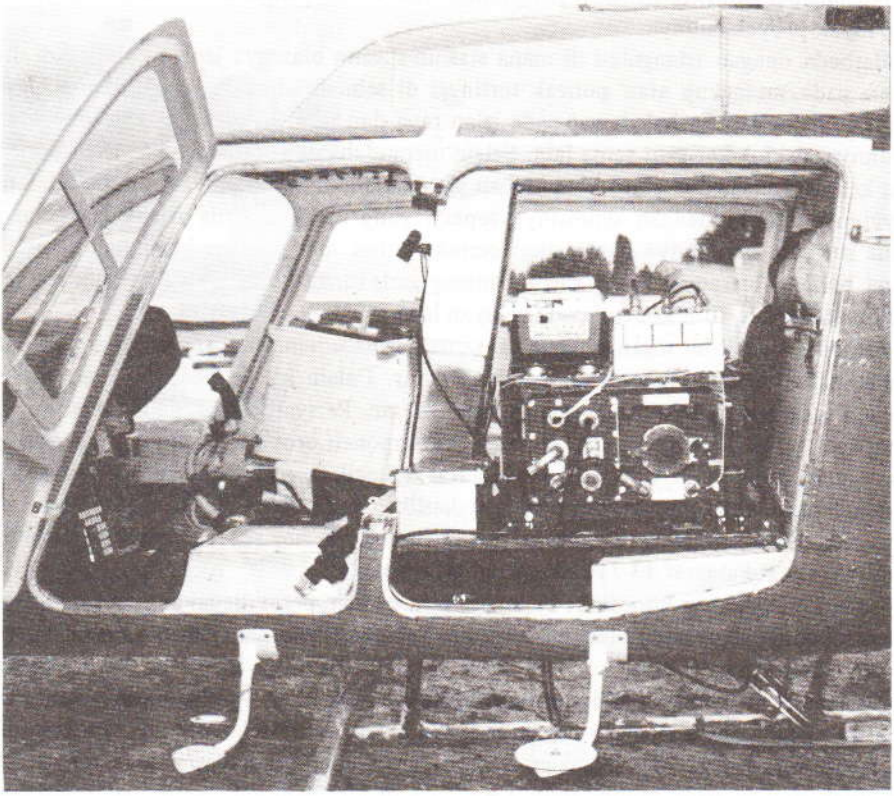
Dalam tahun-tahun terakhir ini NGS telah melaksanakan "poligon lintas benua ketelitian ultra tinggi" secara khusus dengan hasil mendekati satu bagian per juta. Pengukuran ini semula dimulai untuk menyediakan basis bagi program triangulasi satelit seluruh dunia yang dilaksanakan pada tahun-tahun 1960-an dan 1970-an, dan kemudian telah dipakai untuk memperbaiki jaringan titik kontrol horisontal. Teodolit dan peralatan EDM dengan kesaksamaan paling tinggi diperlukan untuk poligon antarbenua, dan prosedur lapangan yang ketat dipakai untuk memenuhi persyaratan yang sangat keras. Selain menunjukkan triangulasi, Gambar 20-3 menggambarkan lokasi-lokasi poligon antarbenua kesaksamaan-tinggi di bagian Florida.

20-13. TRILATERASI. Trilaterasi, sebuah metode untuk pengukuran titik kontrol horisontal yang khusus berdasarkan jarak horisontal yang diukur, telah mendapat sambutan baik karena adanya instrumentasi EDM. Baik triangulasi maupun poligon memerlukan pengukuran sudut horisontal; karenanya pengukuran trilaterasi sering dapat dilaksanakan lebih cepat dan menghasilkan ketelitian yang sama-sama dapat diterima.

Bentuk geometrik yang dipakai dalam trilaterasi, walaupun tak seperti dibakukan, mirip dengan yang dipakai dalam triangulasi. Stasiun-stasiun sebaiknya dapat saling lihat dan karenanya ditempatkan di puncak-puncak tertinggi, barangkali dengan menara untuk meninggikan instrumen dan pengamat.

Kemantapan bentuk dalam trilaterasi kurang dikuantifikasikan daripada untuk triangulasi; tetapi, bentuk-bentuk ramping adalah yang terlemah pada arah mengikuti memanjangnya. Oleh karenanya jaringan yang terutama meliputi wilayah bujur sangkar adalah lebih baik, karena memberikan ketelitian seragam keseluruhan yang lebih kuat.

Karena adanya syarat saling lihat dan lebih disukai jaringan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar, trilaterasi secara ideal cocok untuk merapatkan titik kontrol di wilayah metropolitan dan pada proyek-proyek rekayasa besar. Dalam keadaan khusus di mana topografi atau keadaan lain memaksa bentuk sempit memanjang, jaringan dapat diperkuat dengan pembacaan beberapa sudut horisontal. Juga, untuk busur trilaterasi panjang, peng-



Gambar 20-9. Sistem pengukuran kelembaman, terpasang dalam sebuah helikopter. (Atas kebaikan Shell Canada Resources. Ltd.)

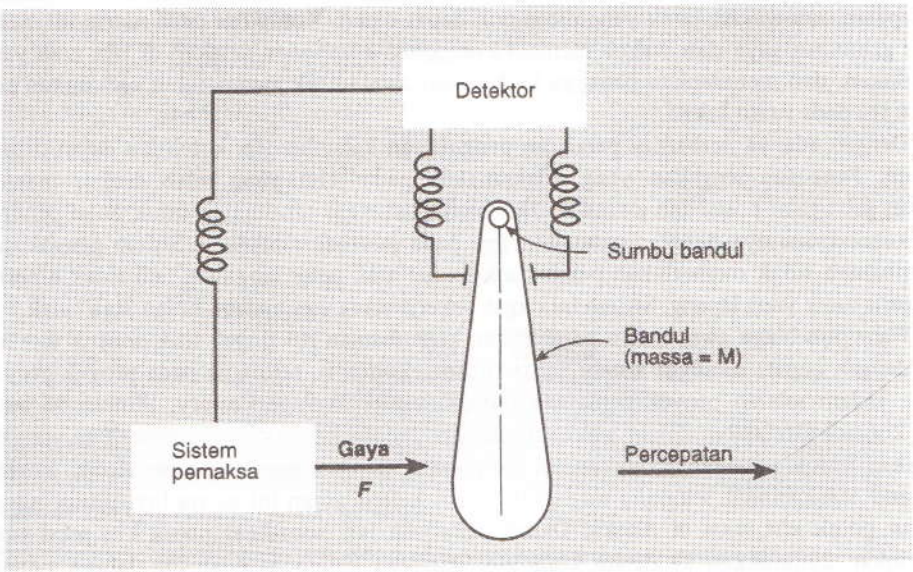
amatan azimut astronomik mencegah jaringan dari kesalahan bentuk dalam arah. Sebuah perkiraan kemantapan bentuk yang lengkap dan teliti untuk jaringan trilaterasi diperoleh dengan analisa kuadrat terkecil konfigurasi percobaan sebelum pengukuran, tetapi prosedur itu di luar cakupan buku ini.

Seperti dalam triangulasi, pengukuran dengan trilaterasi dapat diperpanjang dari satu tugu yang diketahui kedudukannya atau lebih. Jika hanya sebuah stasiun yang tertentu, paling sedikit sebuah azimut harus diketahui atau diamati.

Hitungan trilaterasi terdiri atas mereduksi jarak miring terukur menjadi jarak horisontal; kemudian menjadi jaraknya di permukaan laut pukul rata; dan akhirnya menjadi jarak kisi jika hitungan sedang dikerjakan dalam sistem koordinat bidang negara bagian. Galat-galat pengamatan dalam jaringan trilaterasi harus diratakan, lebih disukai dengan metode kuadrat terkecil.

20-14. SISTEM PENGUKURAN KELEMBAMAN (INERTIAL SURVEYING SYSTEMS).

Sistem-sistem pengukuran kelembaman yang baru, akhir-akhir ini diperkenalkan, mempunyai kemungkinan potensi sama sekali mengubah dengan cepat praktek-praktek pengukuran titik kontrol yang berlaku sekarang. Sistem-sistem ini, yang diangkut dalam helikopter atau kendaraan darat, menggunakan giroskop saksama, akselerometer (pemercepat) dan sebuah komputer. Sistem ini adalah hasil sampingan sistem pengendalian yang dipakai pihak militer pada pesawat terbang dan peluru kendali, dan dapat menunjukkan lintang dan bujur (atau koordinat X dan Y) dan elevasi pada sembarang kedudukan. sistem pengukuran kelembaman yang dipasang dalam sebuah helikopter ditunjukkan dalam Gambar 20-9.



Gambar 20-10. Diagram skematik disederhanakan bekerjanya sebuah akselerometer.

Sistem pengukuran kelembaman diorientasikan oleh sebuah proses dikendalikan komputer yang disebut pengukuran *girokompas.* Giro (gyro) mengindera perputaran bumi dan mengorientasikan diri secara ortogonal, menghadap utara-selatan dan timur-barat. Giro mempertahankan orientasinya, sedangkan akselerometer (diperlukan tiga buah) mengukur komponen gerakan pada arah-arah utama, dan pada elevasi, sewaktu mereka dipindah dari titik ke titik. Sistem ini berpangkal pada sebuah titik yang diketahui kedudukannya serta elevasinya, dan dengan menerapkan komponen-komponen perubahan, kedudukan dan elevasi titik baru yang diduduki dapat ditentukan.

Metode pelaksanaan pengukuran dengan sistem-sistem kelembaman mengikuti prosedur umum yang dipakai dalam poligon, yaitu, ditetapkan jalur lingkar atau untai tertutup. Setelah menduduki dan menentukan kedudukan dan elevasi awal dari seluruh titik perantara baru dalam wilayah, untai ditutup dengan menduduki kembali titik awal atau stasiun lain yang diketahui kedudukannya dan elevasinya. Bila ada kesalahan penutup untai, dapat diamati di titik terakhir ini, dan kemudian kedudukan dan elevasi pendahuluan diratakan untuk kesalahan penutup yang diketahui tadi.

Prinsip bekerjanya akselerometer sistem pengukuran kelembaman dapat digambarkan dengan diagram yang disederhanakan seperti pada Gambar 20-10. Dalam gambar ini, akselerometer terdiri atas sebuah bandul dengan massa M, dilengkapi dengan sebuah sistem umpan balik. Bila akselerometer dalam keadaan diam, atau bergerak dengan kecepatan tetap, bandul akan bergantung pada posisi diam. Kelembaman bandul menahan perubahan kecepatan. Jadi bila percepatan atau perlambatan terjadi sebagai akibat gerakan, bandul akan mempunyai kecenderungan untuk berayun menjauhi kedudukan diam. Sebuah alat-detektor akan mengindera kecenderungan bergerak ini dan mengirim tengara umpan-balik kepada sebuah sistem pemaksa yang menerapkan gaya-gaya momen kakas (torque) yang hanya cukup besar untuk mencegah bandul berayun.

Besarnya gaya-gaya yang diterapkan, bersama dengan jangka waktu terjadinya, diukur. Menurut dalil gerakan dasar dari Newton, gaya sama dengan massa kali percepatan. Karena baik massa maupun gaya diketahui, percepatan dapat dihitung, yaitu $a = F/M$ di mana a

adalah percepatan, F adalah gaya dan M adalah massa bandul. Akhirnya setelah ditentukan percepatan dan waktu, jarak yang ditempuh dapat dicari. Komputer pada sistem ini mengubah gabungan gaya dan waktu menjadi komponen-komponen gerakan di tiga arah yang diperlukan, dan menerapkan padanya kedudukan awal untuk memperoleh kedudukan peralatan itu pada suatu lokasi.

Dengan adanya perbaikan peralatan pengukuran kelembaman, ketelitian dapat ditingkatkan. Pengujian-pengujian yang dilaksanakan pada jalur yang telah diukur menunjukkan galat-galat posisi dan elevasi mutlak hanya beberapa sentimeter untuk untai pendek, dan kesaksamaannya dapat mencapai $\frac{1}{10.000}$ pada jalur-jalur panjang. Sistem pengukuran kelembaman tidak memerlukan pengukuran sudut atau jarak langsung; jadi tidak diperlukan garis bidik yang lapang. Sistem ini dapat bekerja siang dan malam, hujan atau tidak.

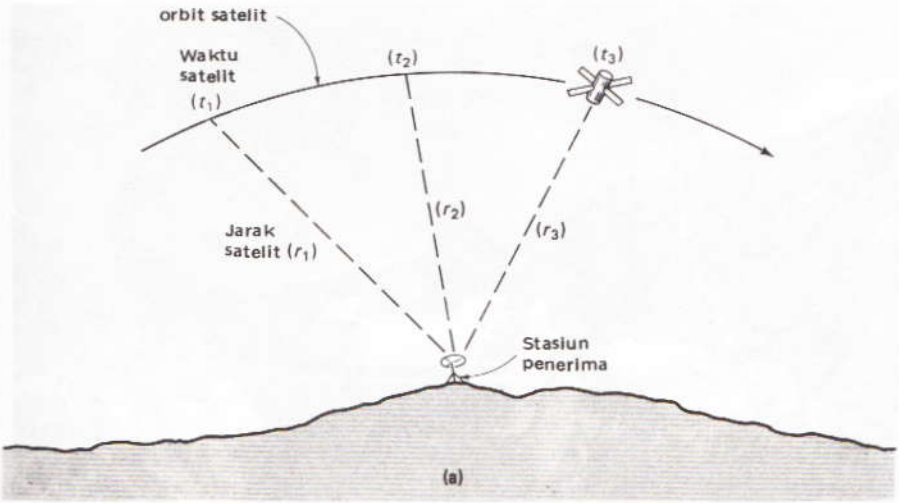
Walaupun biaya awal sistem pengukuran kelembaman itu tinggi, titik kontrol ditetapkan dengan cepat, sehingga sistem ini terhitung ekonomis, terutama pada proyek-proyek besar. Dalam sebuah proyek pemetaan terpadu untuk DuPage County, Illinois, 68 buah titik kontrol ditetapkan dalam waktu tujuh hari dengan biaya kira-kira seperlima yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan yang sama, dengan metode konvensional. Bureau of Land Management sekarang memakai sistem kelembaman ini secara luas untuk menetapkan pojok kisi seksi di Alaska. Dalam pekerjaan ini, koordinat pojok kisi seksi yang diperlukan dimasukkan ke dalam komputer daripada sistem, sesudah itu alatnya menunjukkan operator letak lokasi itu.

20 15. SISTEM DOPPLER SATELIT. Dalam pengukuran doppler satelit, pesawat penerima ditempatkan di stasiun-stasiun di tanah mengukur frekuensi tengara radio yang dipancarkan dari satelit yang beroperasi dengan orbit kutub mengelilingi bumi. Ketinggian satelit kira-kira 1100 km dan mengitari bumi setiap 105 menit. Pengembangan sistem ini dimulai dalam tahun 1958 di bawah Navy Navigation Satellite System (NNSS) untuk menyediakan pengendalian kapal-kapal selam Polaris. Sistem ini mulai bekerja dalam tahun 1964 dan dalam tahun 1967 tersedia untuk pemakaian komersial. Disebabkan banyaknya kebaikan yang dimilikinya (termasuk liputan seluruh dunia, bekerja di segala cuaca, dan tak diperlukan saling lihat di antara stasiun-stasiun), pemakaiannya dalam pengukuran tanah telah meningkat secara dramatis dalam tahun-tahun terakhir.

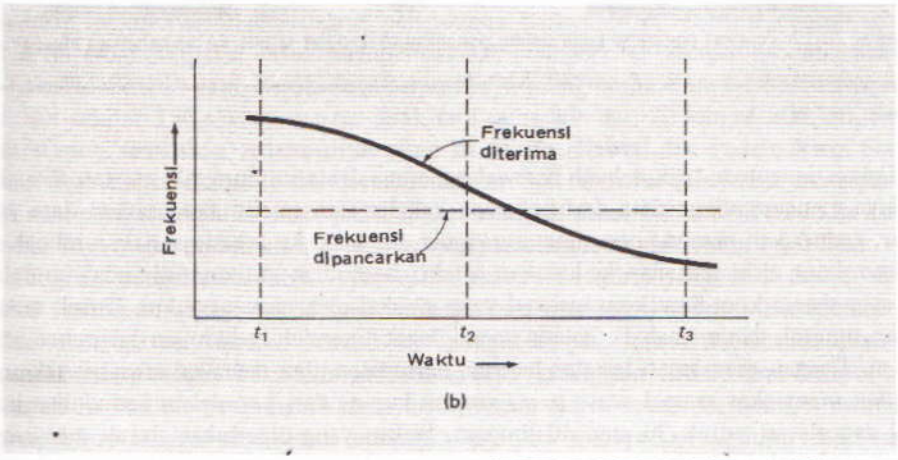
Prinsip bekerjanya sistem doppler satelit digambarkan dengan diagram yang disederhanakan pada Gambar 20-11. Sebuah frekuensi radio yang terkendali saksama dipancarkan dari satelit sewaktu dalam orbitnya lewat di atas sebuah stasiun pengamat [Lihat Gambar 20-11(a)]. Bila pemancar mendekati penerima, tengara yang diterima akan mempunyai frekuensi yang lebih tinggi daripada yang dipancarkan, tetapi akan menurun. Kemudian sewaktu satelit bergerak menjauhi stasiun, frekuensi menurun di bawah batas yang dipancarkan. Gejala ini, digambarkan dalam Gambar 20-11(b), dapat dirasakan seseorang yang mendengarkan perubahan lengking peluit kereta api sewaktu mendekati dan kemudian bergerak melewatinya. Besarnya perubahan frekuensi (ingsutan doppler), yang merupakan fungsi jarak (jarak ke satelit), diukur oleh pesawat penerima. Dengan diketahuinya frekuensi pancaran, orbit satelit, dan penandaan saat pengamatan dengan saksama, kedudukan sebuah stasiun penerima dapat dihitung dari ingsutan-ingsutan doppler (doppler shifts) yang terukur.

Kebanyakan penerima, seperti yang terlihat dalam Gambar 20-12, adalah ringkas dan mudah dipindahkan, memakai aki standar 12-V, dan dapat bekerja pada sembarang keadaan cuaca. Stasiun-stasiun doppler harus ditetapkan di lapangan terbuka yang memberikan garis bidik nisbi tak terhalang, atau lapangan harus dibersihkan. Stasiun doppler harus ada di lokasi yang bebas dari timbrungan radio.

Seperti dijelaskan sebelumnya, pengetahuan tentang orbit satelit merupakan bahan penting untuk menghitung kedudukan stasiun penerima doppler. Keterangan orbit ini da-



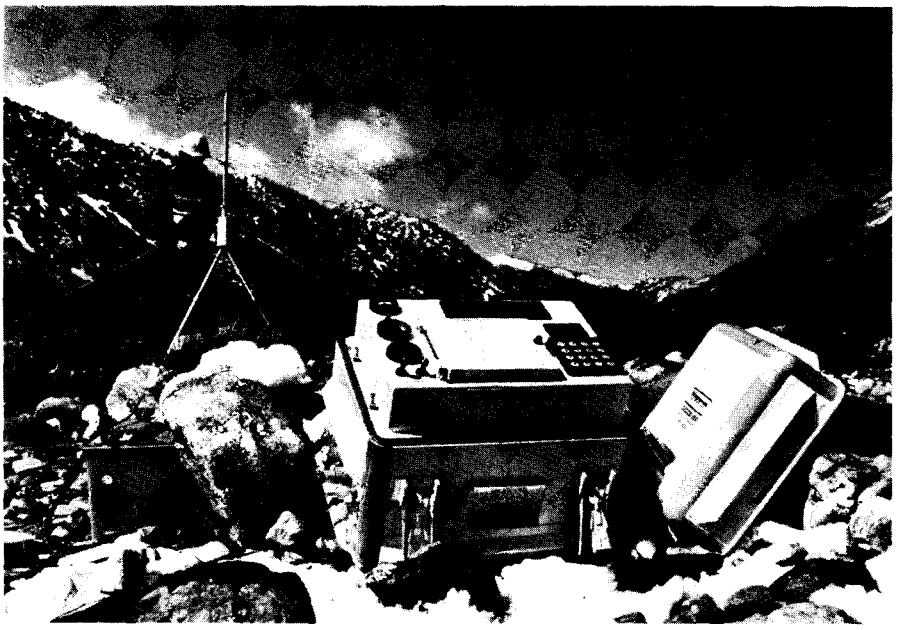
Gambar 20-11(a). Geometri satelit dan pesawat penerima doppler.



Gambar 20-11(b). Perubahan frekuensi (ingsutan doppler, doppler shift) diukur oleh pesawat penerima.

pat diperoleh dari *efemeris siaran,* atau sebuah *efemeris saksama.* Efemeris siaran terdiri atas sebuah ramalan orbit satelit pada suatu saat tertentu, dibuat dengan mengadakan ekstrapolasi sebelumnya dari data lacakan baru yang diukur pada empat stasiun di Hawaii, California, Minnesota dan Maine. Data ini dipancarkan dari satelit dalam waktu sebenarnya, dan karenanya tersedia untuk pemakaian segera dalam mereduksi kedudukan titik. Efemeris saksama memberikan parameter-parameter orbit berdasarkan pada hitungan-hitungan yang melibatkan pengamatan-pengamatan nyata yang dibuat terhadap satelit dari 20 stasiun pelacak tersebar di seluruh dunia. Data orbit ini lebih teliti daripada efemeris siaran, tetapi ada ketinggalan waktu beberapa minggu sebelum informasinya tersedia. Demikian pula mungkin diperlukan izin keamanan untuk memperoleh efemeris saksama.

Teknik-teknik berbeda diterapkan dalam pelaksanaan pengamatan doppler satelit dan dalam mereduksinya untuk memperoleh kedudukan-kedudukan stasiun. Tiga klasifikasi dasar metode yang dipakai adalah (1) *penentuan-titik,* (2) *translokasi,* dan (3) *busur-pen-*

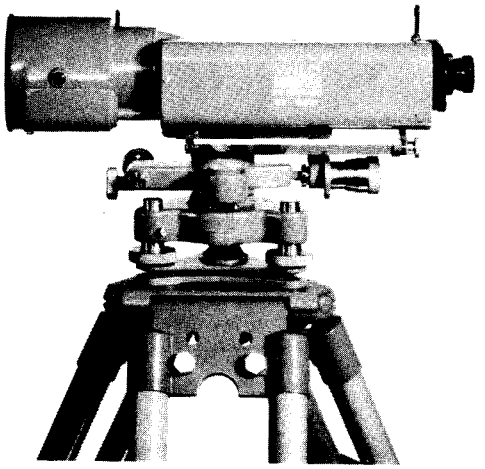


Gambar 20-12. Pesawat penerima pada sistem pengukuran doppler satelit. (Atas kebaikan Magnavox.)

dek. Dalam penentuan-titik, sebuah pesawat penerima di stasiun tunggal yang tak diketahui posisinya mengumpulkan data dari beberapa kali lewatan satelit. Berdasarkan data yang diukur, kedudukan pesawat penerima mula-mula direduksi ke lokasinya dalam sebuah sistem koordinat nisbi terhadap kedudukan satelit. Kemudian titiknya dipindah ke dalam salah satu sistem koordinat konvensional yang dipakai oleh para juru-ukur. Untuk sebuah lintasan tunggal, dan memakai efemeris siaran, dapat diperoleh kedudukan dalam ketelitian $\pm$ 30 m. Dengan mengamati lewatan-lewatan berturutan, dan memakai efemeris saksama, ketelitian meningkat sampai suatu harga puncak kurang dari $\frac{1}{2}$ m dalam kedudukan horisontal dan elevasi untuk 30 atau 40 lintasan. Waktu yang diperlukan untuk mengamati lintasan sebanyak ini berkisar antara 2 sampai 8 hari. Variasi waktu terjadi karena sekarang hanya ada 5 satelit yang bekerja, dan tergantung lintang stasiun, beberapa jam bisa terlewat antara lintasan yang diamati.

Dalam metode translokasi dan busur pendek, pesawat penerima yang ditempatkan pada dua stasiun atau lebih, serentak melacak sebuah satelit. Kedudukan salah satu stasiun paling sedikit harus diketahui. Dalam translokasi, koordinat titik yang diketahui, dihitung memakai teknik penentuan titik yang baru dibicarakan. Hasil-hasilnya dibandingkan dengan koordinat stasiun yang diketahui, sehingga dapat terlihat adanya galat dalam sistem. Berdasarkan galat-galat ini, koreksi dapat ditentukan dan diterapkan pada kedudukan-kedudukan stasiun yang belum diketahui, yang lokasinya juga telah ditentukan memakai metode hitungan penentuan titik.

Pada dasarnya metode busur pendek adalah sama dengan translokasi, kecuali bahwa lebih ketat karena koreksi-koreksi dibuat untuk parameter-parameter orbit satelit. Hal ini tak dikerjakan dalam prosedur translokasi.Kedudukan-kedudukan diperoleh dengan ketelitian sampai beberapa persepuluh meter dengan mengamati 25 sampai 30 lintasan satelit, dan kemudian direduksi dengan metode-metode busur pendek. Sejumlah lintasan yang sama yang direduksi dengan translokasi, akan menghasilkan galat-galat sedikit lebih besar.



Gambar 20-13. Wild N-3, alat sipat datar teliti dengan pengungkit. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instrumens, Inc.)

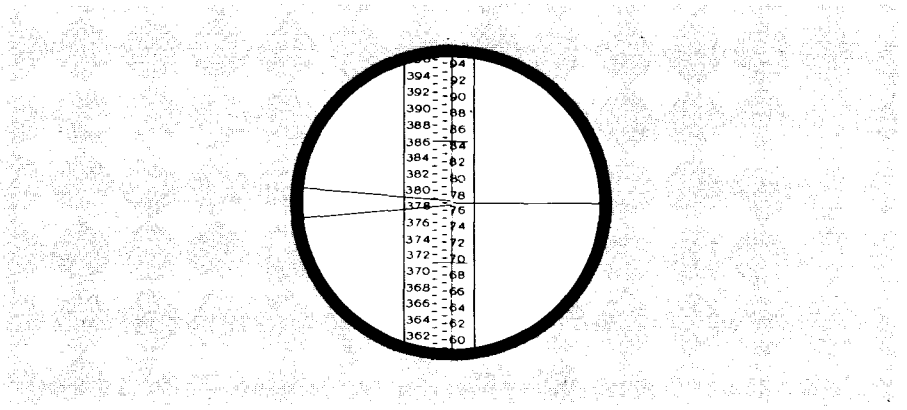
Sistem-sistem doppler satelit sedang diterapkan dalam banyak pengukuran, tetapi penerapan pokoknya adalah dalam pengukuran titik kontrol. Sebagai contoh, sistem-sistem ini sedang dipakai untuk memperluas dan memperkuat jaringan geodetik nasional. Di Amerika Serikat yang negara-negara bagiannya saling berbatasan, telah ditentukan kedudukan sekitar 150 stasiun dengan jarak satu sama lain dari 50 sampai 300 km. Seratus buah stasiun tambahan sedang ditetapkan di Alaska, Hawaii dan Puerto Rico. Stasiun-stasiun itu, dengan lokasi-lokasi terpisah sekitar 300 km satu sama lain, dianggap oleh NGS mempunyai ketelitian nisbi pada tingkat 1 bagian dalam 200.000! Tentu saja ketelitian nisbi akan menurun bila stasiun-stasiun menjadi saling lebih dekat satu sama lain.

Program pengukuran satelit yang direncanakan di waktu yang akan datang disebut *Global Positioning System* (GPS) diharapkan menghasilkan ketelitian kedudukan nisbi sekitar beberapa sentimeter. Diharapkan operasional pada tahun 1987, sistemnya akan memakai paling sedikit 18 satelit pada orbit-orbit ketinggian 20.000 km. Dengan satelit sebanyak ini, waktu pengamatan akan diperpendek secara drastis. Sistem ini mempunyai potensi besar sebagai alat untuk meningkatkan dan merapatkan jaringan titik kontrol nasional.

20-16. PENGUKURAN TITIK KONTROL VERTIKAL. Pengukuran-pengukuran titik kontrol vertikal dilaksanakan dalam berbagai cara, tergantung ketelitian yang diperlukan. Sipat datar barometrik, diterangkan pada Paragraf 6-4, dipakai untuk memperoleh elevasi pendekatan yang sudah cukup untuk survei tinjau. Sipat datar trigonometrik (lihat juga Paragraf 6-4) dapat memberikan tingkat ketelitian yang lebih tinggi, yang cocok untuk misalnya penentuan titik kontrol pemetaan fotogrametrik. Sipat datar memanjang, dijelaskan pada Paragraf 7-4, menghasilkan ketelitian-ketelitian yang berbeda tergantung pada tindakan-tindakan kecermatan yang diambil. Dalam paragraf ini hanya dibahas *sipat datar memanjang saksama* (precise differential leveling).

Seperti dikemukakan dalam Paragraf 20-3 dan Tabel 20-2, FGCC telah menetapkan pembakuan ketelitian dan spesifikasi untuk berbagai orde sipat datar memanjang, tetapi dipakai prinsip-prinsip dasar yang sama. Untuk mencapai orde lebih tinggi, bagaimanapun harus dilakukan dengan hati-hati sekali agar galat-galat dapat dibuat minimum.

Untuk pekerjaan paling teliti, dipakai alat sipat datar berpengungkit seperti Wild N-3 pada Gambar 20-13. Alat ini mempunyai bayangan terpisah atau gelembung-impit dengan



Gambar 20-14. Bidang benang silang alat sipat datar saksama Wild N-3 terlihat dengan rambu sipat datar saksama skala-ganda metrik. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.)

kepekaan 10-sekon/2-mm pembagian yang diseimbangkan dengan sebuah sekrup pengungkit. Alat ini mempunyai mikrometer kaca bidang sejajar (lempeng paralel) yang mengungkit atau menjunamkan garis bidik sejajar garis itu sendiri untuk menempatkanya pada garis pembagian terdekat di rambu. Mikrometer menunjukkan jarak yang dinaikkan atau diturunkan dan membuat pembacaan rambu sampai $\frac{1}{100}$ pembagian rambu terkecil, dan bukan $\frac{1}{10}$ pembagian dengan taksiran. Instrumen ini mempunyai bidang benang silang seperti pada Gambar 20-14. Benang silangnya tunggal horisontal di sebelah kanan untuk pembacaan rambu secara normal, dan dua benang membentuk paju di sebelah kiri untuk membatasi pembacaan agar diperoleh ketelitian terbaik.

Rambu-rambu sipat datar yang khusus diperlukan pada pekerjaan saksama. Garis-garis pembagiannya dibuat pada jalur dari Invar, yang hanya terpengaruh sedikit bila terjadi keragaman suhu. Namun demikian dibaca juga termometer yang menempel pada rambu dan diterapkan koreksi terhadap kerutan atau pemanjangan rambu. Rambu sipat datar khusus dilengkapi dengan nivo rambu untuk mengatur tegaknya, dan penopang khusus dipasang untuk membantu agar rambu diam. Rambu ini biasanya mempunyai dua pembagian skala terpisah. Satu jenis mempunyai pembagian dalam cm di jalur Invar sebelah depan rambu, dan skala dalam feet diletakkan di belakang untuk pengecekan pembacaan dan meminimalkan kesalahan besar. Jenis kedua, diperlihatkan pada Gambar 20-14 mempunyai dua macam pembagian sentimeter pada jalur Invarnya, jalur kanan menggeser sebesar suatu tetapan terhadap yang kiri, sehingga memberikan pengecekan pada pembacaan-pembacaan.

Cuaca berawan lebih disukai untuk sipat datar saksama, tetapi pada hari yang cerah dapat dipakai sebuah payung untuk meneduhi instrumen dan mencegah pemanasan tak merata yang menyebabkan bergesernya gelembung nivo (sebuah rancangan dibuat dengan kemasan semacam plastik styrofoam yang melindungi nivo). Alat sipat datar otomatik tidak begitu mudah menimbulkan galat karena pemanasan tak merata. Pekerjaan saksama tidak boleh dilaksanakan dalam keadaan berangin. Untuk memperoleh hasil terbaik, dianjurkan mengambil jarak pendek bidikan depan dan belakang yang sama sampai maksimum 250 ft (75 m) dan panjang jarak-jaraknya tiap pemasangan alat berimbang dalam batas 6 ft (2 m). Petugas rambu menghitung langkah atau panjang rel atau sambungan lempengan jalan-raya untuk menentukan jarak bidikan, yang dicek ketelitiannya dengan pengukuran jarak optis. Sipat datar saksama menuntut titik-titik balik yang bermutu baik. Garis bidik tak boleh lebih dekat daripada 2 ft dari permukaan tanah untuk menghindari pembiasan. Pembacaan-

pembacaan pada suatu pemasangan alat harus diselesaikan berturut-turut dengan cepat; kalau tidak, maka perubahan kondisi atmosferik mungkin cukup besar pengaruhnya terhadap ciri-ciri pembiasan di antaranya.

Sipat datar tiga-benang telah banyak dipakai untuk pengukuran saksama di Amerika Serikat. Metode ini mempunyai kelebihan-kelebihan (a) memberikan pengecekan terhadap kesalahan besar pembacaan rambu, (b) menghasilkan ketelitian lebih tinggi karena mengambil pukul rata tiga pembacaan yang ada, dan (c) memberikan pengukuran optis pada jarak bidikan. Dalam prosedur tiga-benang, diambil pembacaan rambu pada benangsilang atas, tengah dan bawah, serta dicatat untuk masing-masing bidikan belakang dan depan. Selisih antara pembacaan benang tengah dan atas dibandingkan dengan selisih antara pembacaan benang tengah dan bawah, dan harus cocok dalam batas satu atau dua satuan terkecil yang dicatat (biasanya 0,1 dari hitungan terkecil pembagian skala rambu); kalau tidak demikian maka pembacaan diulangi. Sebenarnya dipakai harga purata tiga pembacaan, tetapi sebagai pengecekan hitungan harganya harus sangat mendekati angka pembacaan benang tengah. Selisih antara pembacaan benang atas dan pembacaan benang bawah dikalikan tetapan pengali menghasilkan jarak optis.

Sebuah susunan contoh catatan lapangan untuk metode tiga-benang terlihat pada Gambar 20-15. Pembacaan bidikan belakang pada titik-tetap-duga (B.M.) *A* berturut-turut 0,718, 0,633, dan 0,550 pada benang atas, tengah dan bawah, menghasilkan selisih-selisih atas dan bawah sebesar (setelah dikalikan seratus) 8,5 dan 8,3 m, yang dianggap masih dalam batas toleransi. Pengukuran jarak optis ke bidikan belakang (jumlah selisih atas dan bawah) adalah 16,8 m. Harga purata tiga pembacaan bidikan belakang pada BM *A* yaitu 0,6337 m cocok dalam batas 0,0007 m terhadap pembacaan benang tengah. Jarak optis bidikan depan yang besarnya 15,9 m pada pemasangan ini berbeda sebesar 0,9 m terhadap jarak bidikan belakang dan cukup memuaskan. T.I. (tinggi instrumen) untuk pemasangan pertama didapatkan dengan jalan menambahkan pembacaan purata bidikan belakang pada elevasi BM *A*. Mengurangkan pembacaan purata bidikan depan pada T.B. menghasilkan elevasinya. Proses ini diulang untuk tiap-tiap pemasangan instrumen.

Teknik kedua dalam sipat datar saksama, memakai mikrometer lempeng sejajar yang ditempelkan pada instrumen sipat datar saksama, dan sepasang rambu saksama seperti yang telah dibicarakan sebelumnya. Sementara metode ini telah digunakan di Eropa selama 50 tahun, baru di akhir tahun 1960-an dipakai di Amerika Serikat.

Biasanya disarankan untuk menyusun jaringan sipat datar yang besar-besar sehingga beberapa rangkaian kecil saling bersambungan agar merupakan pengecekan yang dapat menyisihkan kesalahan besar atau galat besar. Pada Gambar 20-16 misalnya harus ditentukan elevasi-elevasi titik *X*, *Y* dan *Z* dengan memulai dari BM *A* dan berakhir di BM *B*. Sebagai minimum, ini dapat dikerjakan dengan melaksanakan sipat datar jalur 1 sampai dengan 4, tetapi jika terdapat kesalahan penutup yang tak memenuhi syarat di BM *B*, maka tak mungkin untuk menemukan di jalur mana kesalahan besar terjadi. Jika ditambahkan pengukuran jalur tambahan 5, 6, dan 7, dengan menghitung beda elevasi lewat jalur-jalur lain pada jaringan, mungkin dapat ditemukan kesalahan besar itu. Lebih lanjut, dengan mengadakan pengukuran pelengkap, dapat ditingkatkan kesaksamaan elevasi yang dihasilkan pada *X*, *Y*, dan *Z*.

Bagaimanapun cermatnya pengamatan lapangan dilakukan, pada sipat datar terjadi penumpukan galat dan harus diratakan untuk memperoleh kesalahan penutup yang baik pada seluruh rangkaian. Untuk untaian sipat datar sederhana, prosedur perataannya dibicarakan dalam Paragraf 7-14 dan 7-15; untuk untaian jaringan sipat datar saling-hubung seperti pada Gambar 20-16, lebih disukai perataan dengan metode kuadrat terkecil.

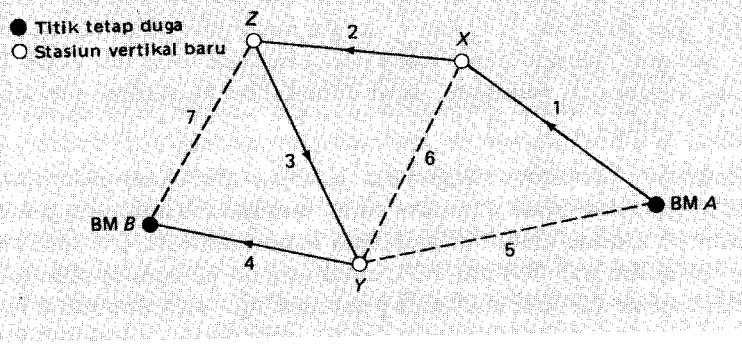
Pengukuran sipat datar saksama itu sangat melelahkan dan memerlukan kecermatan amat tinggi. Petugas lapangan harus memperhatikan detail-detail kecil untuk menekan

SIPAT DATAR TIGA-BENANG
TAYLOR LAKE ROAD

Stasiun	Bidikan +	Jarak optis	Bidikan −	Jarak optis	Elevasi
BM A					103,8432
	0,718		1,131		
	0,633	8,5	1,051	8,0	+0,6337
	0,550	8,3	0,972	7,9	104,4769
3	1,901	16,8	3 3,154	15,9	-1,0513
	+0,6337		-1,0513		
TB 1					103,4256
	1,151		1,041		
	1,082	6,9	0,969	7,2	+1,0820
	1,013	6,9	0,897	7,2	104,5076
3	3,246	13,8	3 2,907	14,4	-0,9690
	+1,0820		-0,9690		
TB 2					103,5386
	1,908		1,264		
	1,841	6,7	1,194	7,0	+1,8410
	1,774	6,7	1,123	7,1	105,3796
3	5,523	13,4	3 3,581	14,1	-1,1937
	+1,8410		-1,1937		
BM B					104,1859
					Check
Σ	+3,5567		Σ -3,2140		
Page Check:					
	103,8432	+3,5567	-3,2140	= 104,1859	

Gambar 20-15. Contoh catatan lapangan sipat datar tiga-benang.

galat sistematik sekecil mungkin, yang selalu ada. Barangkali tak ada aspek pengukuran titik kontrol lain yang telah dipelajari demikian lama (lebih dari satu abad).



Gambar 20-16. Untaian sipat datar saling-hubung.

SOAL-SOAL

20-1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan istilah-istilah *lintang geodetik* dan *bujur geodetik*.

20-2. Metode-metode lapangan yang berbeda manakah yang dipakai dalam pengukuran titik kontrol horisontal? Faktor-faktor apakah yang mempengaruhi pilihan metode lapangan yang dipakai?

20-3. Uraikan datum-datum acuan yang dipakai untuk pengukuran titik kontrol horisontal dan vertikal.

20-4. Tuliskan orde-orde dan kelas-kelas ketelitian pengukuran titik kontrol horisontal dan berikan persyaratan-persyaratan ketelitian nisbinya.

20-5. Sebutkan orde-orde dan kelas-kelas ketelitian pengukuran titik kontrol vertikal dan sebutkan persyaratan-persyaratan ketelitian nisbinya.

20-6. Jelaskan hirarki Jaringan Titik Kontrol Horisontal Nasional.

20-7. Jelaskan hirarki Jaringan Titik Kontrol Vertikal Nasional.

20-8. Terangkan mengapa penting untuk memasang tugu tetap dan menjelaskannya dengan cukup untuk stasiun-stasiun titik kontrol. Uraikan isi penjelasan stasiun titik kontrol yang baik.

20-9. Mengapa segiempat adalah bentuk geometrik yang paling biasa dipakai dalam triangulasi?

20-10. Uraikan faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam survei-tinjau triangulasi.

20-11. Dapatkan sebuah peta segiempat U.S. Geological Survey dari wilayah Anda. Pada peta, rencanakan sebuah segiempat yang bersisi dari 3 sampai 5 mil panjangnya. Telitilah sehingga untuk semua garis ada saling-lihat satu sama lain dengan jalan menggambar profilnya, dan jika perlu pindahkan kedudukan stasiun hingga pandangan tak terhalang.

20-12. Jelaskan alasan untuk membentuk triangulasi yang bersudut antara 30 dan 150°.

20-13. Jelaskan tindakan pengamanan khusus dalam pengamatan sudut-sudut pada triangulasi orde-tinggi.

20-14. Berikan garis-garis besar kebaikan-kebaikan dan kelemahan-kelemahan pengukuran titik kontrol secara poligon dibanding triangulasi untuk jaringan-jaringan horisontal.

20-15. Terangkan perbedaan-perbedaan antara triangulasi dan trilaterasi. Sebutkan persamaannya.

20-16. Jelaskan kebaikan-kebaikan sistem pengukuran kelembaman. Terangkan mengapa sistem ini dapat berpotensi mengubah cepat praktek pengukuran titik kontrol yang berlaku sekarang.

20-17. Uraikan dengan ringkas sistem pengukuran doppler satelit. Apa yang dimaksud dengan ingsutan doppler?

20-18. Sebutkan tindakan-tindakan pengamanan khusus yang diambil pada sipat datar memanjang orde-tinggi.

20-19. Jelaskan dua jenis rambu sipat datar yang berbeda, yang dipakai untuk mencegah kesalahan besar dalam pembacaan pada sipat datar saksama.

20-20. Uraikan kebaikan-kebaikan prosedur sipat datar tiga-benang.

20-21. Galat standar selisih elevasi antara dua titik tetap duga yang dihubungkan langsung dalam sebuah untai sipat datar dan letaknya terpisah 27 mil adalah ± 0,008 m. Ini merupakan sipat datar orde dan kelas berapa?

20-22. Serupa Soal 20-21, kecuali galat standarnya adalah ± 0,014 ft untuk titik-titik tetap duga yang lokasinya terpisah 40 km.

20-23. Siapkan serangkaian catatan pengukuran sipat datar tiga-benang untuk data yang diberikan, dan buatlah pengecekan halaman. Elevasi BM *X* adalah 149,387 m. Pembacaan-pembacaan rambu (dalam meter adalah:

Bidikan Depan Ke	Bidikan Belakang Ke	Pembacaan Benang		
		Atas	Tengah	Bawah
	BM *X*	1,683	1,453	1,224
TP 1		2,959	2,707	2,454
	TP 1	2,254	2,054	1,854
BM *Y*		1,013	0,817	0,620

20-24. Serupa Soal 20-23, kecuali elevasi BM *X* adalah 859,307 ft, dan pembacaan-pembacaan rambu (dalam meter) adalah:

Bidikan Depan Ke	Bidikan Belakang Ke	Pembacaan Benang		
		Atas	Tengah	Bawah
	BM *X*	2,573	2,321	2,070
TP 1		1,949	1,653	1,356
	TP 1	1,470	1,195	0,921
BM *Y*		1,674	1,453	1,231

DAFTAR PUSTAKA

Berry, R.M. 1976. "Sejarah Sipat Datar Geodetik di Amerika Serikat." *Surveying and Mapping* 36(no. 2): 137.

——— 1977. "Teknik-teknik Pengamatan untuk Dipakai dengan Instrumen-instrumen Sipat Datar Pemampas untuk Sipat Datar Orde Pertama." *Surveying and Mapping* 37(no. 1): 17.

Bomford, G. 1971. *Geodesy*, edisi ketiga. London: Oxford University Press.

Bossler, J.D. 1981. "Sebuah Catatan mengenai Kegiatan-kegiatan Sistem Penentuan Posisi Global." *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping*, no. 74, halaman 39.

———. 1982. "Perataan Baru Datum Amerika Utara." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 108(no. SU2): 47.

Colcord, J.E. 1981. "Insnyur Pengukuran Tanah dan Datum Amerika Utara 1983." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 107(no. SU1): 25.

Hanson, R.H. 1976. "Perataan Baru Datum Amerika Utara: Perataan Jaringan." *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping*, no. 55, hal. 21.

Haug, M.D., et al. 1980. "Sebuah Penjelasan Sederhana Penentuan Posisi Doppler." *Surveying and Mapping* 40(no. 1): 47.

Hoar, G.J. 1982. Pengukuran Satelit. Torrance, California: Magnafox Advanced Products and Systems Co.

Hothem, L.P., et al. 1978. "Sistem Pengukuran Satelit Doppler." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 104(no. SU1): 79.

Kulp, E.F. 1970. "Sipat Datar Kesaksamaan Tinggi dengan Instrumen-instrumen Otomatik." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 96(no. SU2): 121.

Lippold, H.R., Jr. 1980. "Perataan Kembali Datum Vertikal Geodetik Nasional." *Surveying and Mapping* 40(no. 2): 155.

Mezera, D.F. 1979. "Pengukuran Geodetik: Dekade Berikutnya." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 105(no. SU1): 93.

National Godetic Survey. 1982. "Bulletin untuk Para Pemakai Instrumen Sipat Datar Jenis Pemampas." *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping*, no. 79, halaman 35.

Treftz, W.H. 1981. "Pengantar Penentuan Posisi secara Kelembaman dan Penerapannya pada Pengukuran Tanah dan Titik Kontrol." *Surveying and Mapping* 41(no. 1): 59.

Vanicek, P., dan E. Krakiwsky. 1982. *Geodesi, Konsep-konsepnya.* Amsterdam: North-Holland.

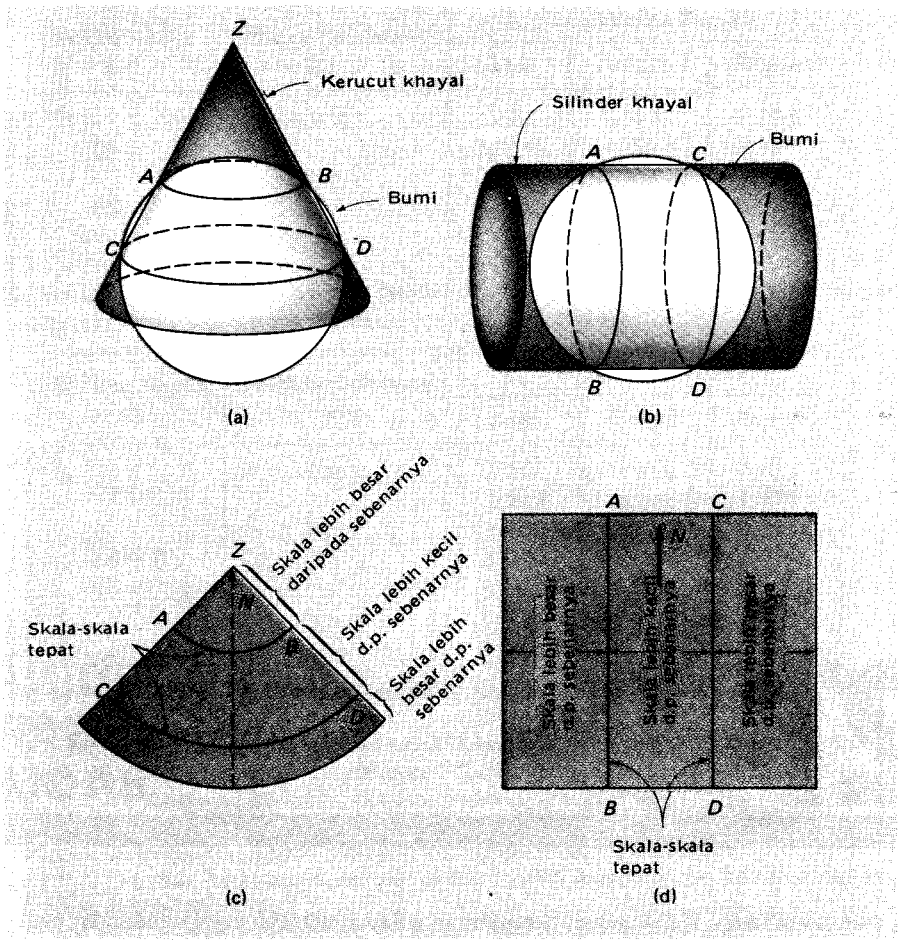
Whalen, C.T. 1982. Perataan Baru Datum Vertikal Amerika Utara." *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping*, no. 78, halaman 39.

Wolf, P.R., dan S.D. Johnson. 1974. "Trilaterasi dengan Perataan EDM Jarak Pendek dan Perbandingan dengan Triangulasi." *Surveying and Mapping* 34(no. 4): 337.

21 KOORDINAT BIDANG NEGARA BAGIAN

21-1. PENGANTAR. Kebanyakan pengukuran wilayah-wilayah kecil didasarkan pada anggapan bahwa permukaan bumi adalah bidang datar. Seperti diterangkan dalam Bab 20, untuk pengukuran wilayah luas, bagaimanapun perlu mempertimbangkan kelengkungan bumi. Ini dikerjakan dengan menghitung kedudukan-kedudukan stasiun berjarak jauh dalam pengertian yang dinyatakan dengan bujur dan lintang geodetik. Yang menjadi masalah adalah, hitungan-hitungan yang perlu untuk menentukan kedudukan geodetik dari pengukuran dan memperoleh jarak serta azimut dari padanya itu adalah panjang. Juru-ukur praktek sering tidak menguasai prosedur ini. Jelaslah bahwa diperlukan sebuah sistem untuk menentukan kedudukan stasiun geodetik yang memakai koordinat-bidang tegak lurus, karena memungkinkan hitungan dilaksanakan memakai rumus-rumus geometri koordinat yang nisbi sederhana, seperti yang dikemukakan dalam Apendiks B. National Geodetic Survey mencukupi kebutuhan ini dengan mengembangkan sistem koordinat bidang (datar) negara bagian untuk masing-masing negara bagian. Sistem semacam itu pertama dipakai dalam tahun 1933 untuk negara bagian North Carolina.

Sebuah sistem koordinat bidang negara bagian memberikan sebuah datum acuan bersama untuk titik kontrol horisontal segala pengukuran di wilayah luas, sama halnya dengan pemukaan laut pukul rata merupakan sebuah datum tunggal untuk titik kontrol vertikal. Sistem ini mencegah terjadinya pengukuran-pengukuran individual yang didasarkan pada koordinat sementara yang berbeda, tak berkaitan dengan yang dipakai oleh pekerjaan di sebelahnya. Dewasa ini koordinat bidang negara bagian dipakai secara luas dalam semua jenis pengukuran, termasuk untuk pemetaan fotogrametrik, proyek-proyek rancang-bangun

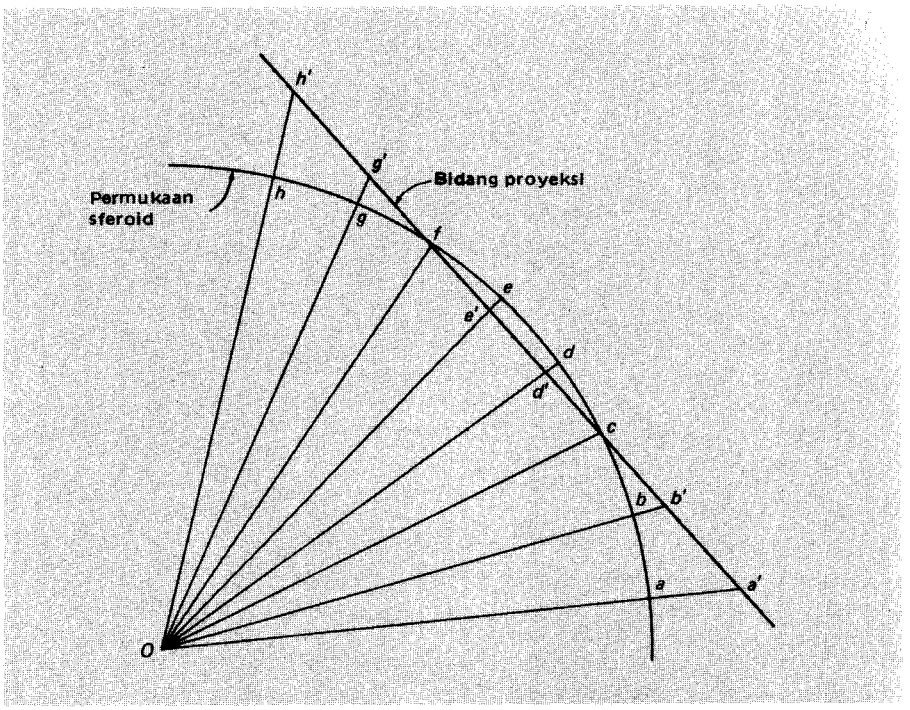


Gambar 21-1. Bidang-bidang yang dipakai dalam sistem-sistem koordinat bidang negara bagian.

jalan raya, dan penetapan garis batas pemilikan tanah. Di banyak negara bagian, pemecahan wilayah baru harus menggunakan koordinat bidang negara bagian.

Seperti dibicarakan dalam Bab 20, permukaan bumi lengkung atau permukaan laut pukul rata sangat mendekati bentuk sebuah *sferoid* (dijabarkan dengan memutar secara matematis sebuah ellips mengelilingi sumbu pendeknya). Untuk mengubah kedudukan-kedudukan geodetik sebagian permukaan bumi menjadi koordinat tegaklurus bidang datar, titik-titiknya diproyeksikan secara matematis dari sferoid ke suatu bidang khayal yang dapat dikembangkan (*developable surface*) yaitu bidang yang dapat dibuat datar tanpa terjadi perubahan bentuk maupun ukuran. Sebuah kisi tegaklurus dapat ditempatkan pada bidang yang sudah dikembangkan tadi dan kedudukan titik-titiknya dinyatakan terhadap sumbu-sumbu kisi X dan Y. Kisi bidang datar yang dikembangkan demikian disebut *proyeksi peta.*

Dalam sistem kordinat bidang negara bagian dipakai dua proyeksi dasar: *proyeksi kerucut konformal Lambert* dan *proyeksi Mercator melintang* (*transverse*). Yang pertama memakai kerucut khayal, yang kedua memakai tabung (silinder) khayal sebagai bidang-bidang yang dikembangkan. Ini diperlihatkan dalam Gambar 21-1(a) dan (b) berturut-turut. Kerucut dan silindernya menyinggung dan sedikit memotong sferoid (*secant*) dalam sistem-

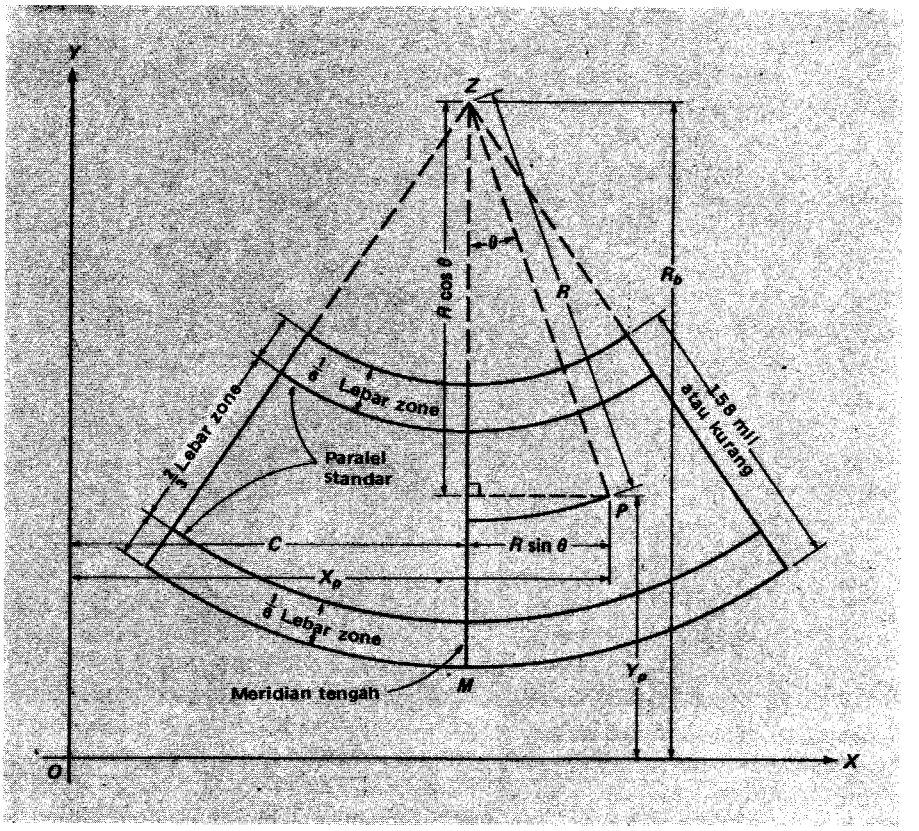


Gambar 21-2. Metode proyeksi.

sistem koordinat bidang negara bagian; yaitu, keduanya memotong sferoid sepanjang dua busur kecil *AB* dan *CD* seperti yang terlihat. Gambar 21-1(c) dan (d) berturut-turut menggambarkan bidang-bidang datar yang dikembangkan dari kerucut dan tabung.

Dalam menghitung sistem-sistem koordinat bidang negara bagian, titik-titik diproyeksikan secara matematis dari sferoid ke permukaan bidang kerucut dan tabung khayal. untuk maksud pembicaraan ini dapat dianggap merupakan proyeksi memancar (radial) dari pusat bumi. Gambar 21-2 menggambarkan proses ini secara diagramatis dan melukiskan hubungan antara panjang sebuah garis di sferoid dan panjang garis itu bila diproyeksikan ke atas permukaan kerucut atau tabung. Perhatikan bahwa jarak $a'b'$ di bidang proyeksi adalah lebih besar daripada *ab* di atas sferoid, dan demikian pula halnya $g'h'$ lebih besar daripada *gh*. Dari pengamatan ini jelaslah bahwa proyeksi peta mempunyai skala lebih besar daripada skala sferoid sebenarnya di mana kerucut atau silinder (tabung) berada di luar sferoid. Sebaliknya, jarak $d'e'$ pada proyeksi adalah lebih pendek daripada *de* pada sferoid, jadi skala peta lebih kecil daripada skala sferoid sebenarnya bila bidang proyeksi berada di luar sferoid. Titik-titik *c* dan *f* terletak tepat pada perpotongan bidang-bidang proyeksi dan sferoid, karenanya skala peta sama dengan skala sferoid sebenarnya sepanjang garis potong. Hubungan skala peta terhadap skala sferoid sebenarnya ini untuk berbagai kedudukan pada kedua proyeksi ditunjukkan dalam Gambar 21-1(c) dan (d).

Dari uraian di muka, jelaslah kiranya bahwa titik-titik tidak dapat diproyeksikan dari sferoid ke bidang yang dapat dikembangkan tanpa terjadinya perubahan (distorsi) panjang garis atau bentuk wilayah. Tetapi perubahan ini dijaga agar minimum dengan jalan memilih penempatan perpotongan kerucut atau tabung, memakai sebuah *proyeksi konformal* (proyeksi yang mempertahankan hubungan sudut sebenarnya di sekitar titik-titik), dan juga dengan jalan membatasi ukuran zone (wilayah) atau luas cakupan di permukaan bumi untuk suatu proyeksi. Bila lebar zone-zone dijaga agar maksimum 158 mil, dan jika dua



Gambar 21-3. Proyeksi kerucut konformal Lambert.

pertiga lebar zone ini berada di antara garis-garis potong, maka perubahan (selisih panjang garis pada kedua bidang) dapat ditekan sampai 1 bagian dalam 10.000 atau kurang. Inilah ketelitian yang diinginkan oleh NGS dalam pengembangan sistem koordinat bidang negara bagian. Satu zone sudah cukup untuk meliput seluruhnya sebuah negara bagian kecil – misalnya, Connecticut atau Delaware. Negara-negara bagian yang besar seperti California dan Texas, memerlukan lebih dari satu zone; California menggunakan tujuh dan Texas lima zone.

21-2. PROYEKSI KERUCUT KONFORMAL LAMBERT (LAMBERT CONFORMAL CONIC PROJECTION). Proyeksi kerucut konformal Lambert, seperti namanya menjelaskan, adalah proyeksi ke atas permukaan sebuah kerucut khayal. Istilah *konformal,* seperti diterangkan sebelumnya, berarti hubungan sudut sebenarnya dipertahankan di sekeliling semua titik. Proyeksi ini dipakai oleh 31 dari 50 negara bagian. Skala pada sebuah proyeksi Lambert beragam dari utara ke selatan tetapi tidak dari timur ke barat, seperti ditunjukkan pada Gambar 21-1(c). Oleh karena itu proyeksi ini ideal untuk pemetaan wilayah-wilayah yang membentang panjang pada arah timur-barat – misalnya Kentucky, Pennsylvania, dan Tennessee.

Dalam proyeksi Lambert, diperlihatkan pada Gambar 21-3, kerucut memotong sferoid sepanjang dua garis paralel, disebut *paralel standar,* pada seperenam lebar zone dari *batas zone* utara dan selatan. Pada proyeksinya, semua meridian tergambar sebagai garis-garis lurus yang berpotongan di *Z,* yaitu puncak kerucut, dan semua paralel tergambar sebagai busur-busur lingkaran sepusat dengan pusat di puncak kerucut. Proyeksi ditempatkan da-

lam sebuah zone pada arah timur-barat dengan jalan memilih sebuah *meridian tengah* yang bujurnya dekat tengah-tengah wilayah yang diliput. Arah meridian tengah pada proyeksinya menentukan *utara kisi* (grid north). Semua garis sejajar dengan meridian tengah mengarah ke utara kisi. Oleh karena itu, kecuali meridian tengah, arah-arah utara sebenarnya dan utara kisi tidak berimpit.

Bila diberikan lintang dan bujur sembarang titik P, koordinat bidang negara bagiannya X dan Y dalam proyeksi Lambert dengan mudah dapat dihitung. Misalnya diambil bidang datar terkembang pada proyeksi Lambert tergambar pada Gambar 21-3. Titik Z adalah puncak sebuah kerucut, dan titik O adalah pusat koordinat tegaklurus. Garis ZM adalah meridian tengah daripada proyeksi. Sebuah tetapan C, biasanya 2.000.000 ft, dipakai untuk pergeseran meridian tengah terhadap sumbu kisi Y dan membuat agar koordinat X semua titik mempunyai harga positif. Garis ZP merupakan potongan meridian yang melalui titik P dengan panjang dinyatakan sebagai R. Sudut θ antara meridian tengah dan meridian ZP dinamakan *sudut pemetaan.*

NGS telah menghitung dan menerbitkan tabel-tabel untuk setiap negara bagian.[1] Untuk sembarang titik P, hanya R dimuat dalam tabel terhadap lintang P, dan θ tercatat terhadap bujur P. Sebuah tetapan R_b (koordinat Y puncak kerucut Z) juga diberikan untuk suatu zone. Dari Gambar 21-3 dan tabel-tabel proyeksi yang sesuai, persamaan berikut ini dapat diselesaikan untuk mencari X dan Y yaitu koordinat P:

$$\begin{aligned} X_p &= R \sin \theta + C \\ Y_p &= R_b - R \cos \theta \end{aligned} \tag{21-1}$$

Perhatikanlah bila θ di kiri meridian tengah, tandanya negatif; jika di kanan, positif. Kecuali di mana sebuah garis azimut acuan panjangnya lebih dari 5 mil, azimut kisi dapat dihitung dengan cukup teliti dari azimut geodetik memakai rumus sebagai berikut:

$$\text{azimut kisi} = \text{azimut geodetik} - \theta \tag{21-2}$$

21-3. PROYEKSI MERKATOR MELINTANG (TRANSVERSE). Proyeksi Merkator melintang juga bersifat konformal berdasarkan sebuah tabung khayal terpotong sebagai bidang terkembang. Karena keragaman skala pada arah timur-barat, tetapi tidak pada arah utara ke selatan, maka dipakai untuk memetakan wilayah 22 negara bagian yang memanjang arah utara selatan, seperti Illinois dan Indiana.[2]

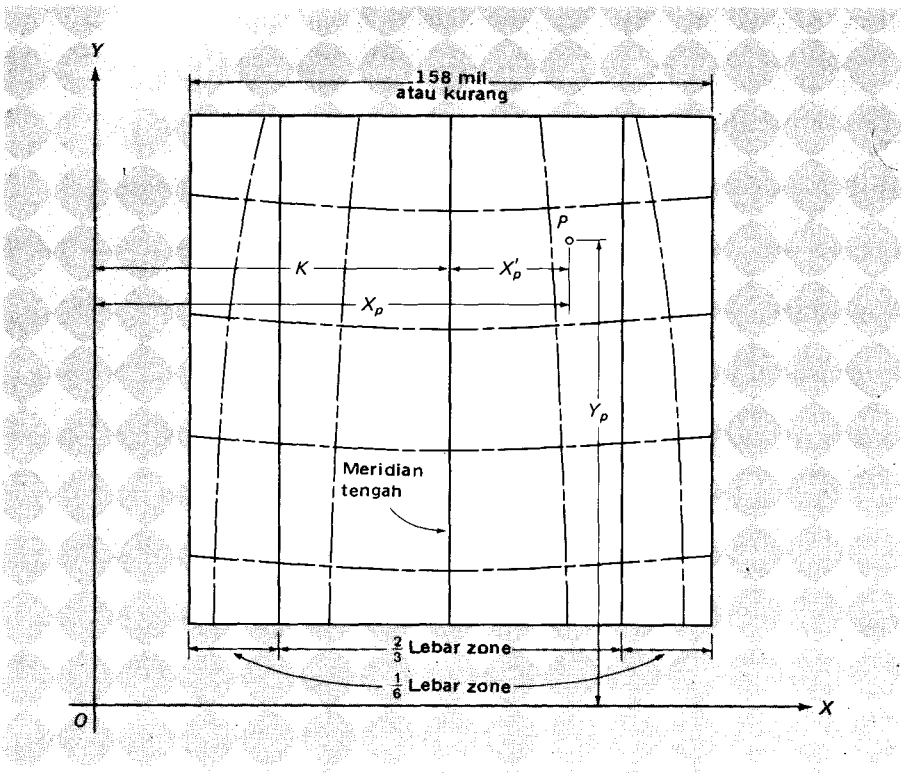
Sumbu tabung khayal pada proyeksi Merkator melintang terletak pada sebuah bidang datar yang melalui equator bumi. Tabung memotong sferoid sepanjang dua lingkaran kecil sama jauh dari meridian tengah. Pada bidang datar dikembangkan (Gambar 21-4) semua paralel dan semua meridian kecuali meridian tengah, berbentuk lengkung ditunjukkan dengan garis-garis putus yang tipis. Sebuah meridian tengah menetapkan arah utara kisi. Koordinat X dan Y daripada titik-titik diukur berturut-turut tegaklurus pada dan sejajar dengan meridian tengah.

Menurut Gambar 21-4 dan tabel-tabel proyeksi Merkator melintang yang sesuai, persamaan-persamaan berikut ini dapat dipakai untuk mencari harga koordinat X dan Y sem-

---

[1] Tabel-tabel proyeksi untuk setiap negara bagian tersedia dengan membeli dari Superintendant of Document, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

[2] Baik proyeksi kerucut konformal Lambert maupun proyeksi Merkator melintang keduanya dipakai di Alaska, Florida, dan New York.



Gambar 21-4. Proyeksi Merkator melintang (transverse).

barang titik P:

$$X'_p = H \times \Delta\lambda'' \pm ab$$
$$X_p = X'_p + K \qquad (21\text{-}3)$$
$$Y_p = Y_o + V\left[\frac{\Delta\lambda''}{100}\right]^2 \pm c$$

Di dalam persamaan, X'_p adalah jarak ke titik P baik ke timur maupun ke barat dari meridian tengah. Selisih dalam sekon antara bujur meridian tengah dan bujur titik P adalah $\Delta\lambda''$, tanda aljabarnya negatif bila P ada di barat dan positif bila ada di timur meridian tengah. Tetapan K menggeser sumbu Y dari meridian tengah, sehingga harga koordinat Y semua positif. Harganya adalah 500.000 ft untuk kebanyakan negara bagian. Harga-harga H, a, Y_o dan V dimuat dalam tabel terhadap (menurut harga) lintang titik P dalam tabel proyeksi, dan b serta c ditabelkan terhadap $\Delta\lambda''$. Tanda negatif hasilkali ab menurunkan $H \times \Delta\lambda''$; bila positif menaikkannya.

Kecuali di mana sebuah garis azimut acuan melebihi 5 mil panjangnya, azimut kisi (grid) dapat dihitung dengan hasil cukup teliti dari azimut geodetik memakai persamaan berikut ini:

$$\text{azimut kisi} = \text{azimut geodetik} - \Delta\alpha'' \qquad (21\text{-}4)$$

Di dalam persamaan ini, $\Delta\alpha'' = \Delta\lambda'' \sin\phi_p + g$ (di mana g ditabelkan terhadap $\Delta\lambda''$ dalam tabel-tabel proyeksi) dan ϕ_p adalah lintang titik P.

Koordinat bidang negara bagian dan azimut kisi terhadap tanda acuan di dekatnya, diterbitkan oleh NGS Untuk seluruh stasiun jaringan horisontal Amerika Serikat dan karenanya tak perlu dihitung (atau bila perlu ditentukan dengan mudah memakai tabel-tabel proyeksi dan kalkulator). Selain data yang disebutkan tadi, tabel-tabel juga memuat soal-soal contoh yang terinci. Tabel-tabel proyeksi untuk negara bagian Anda dan negara-negara bagian di sekitarnya harus diperoleh bila bekerja dengan koordinat bidang negara bagian, karena pengukuran dapat meliputi beberapa zone (koordinat rangkaian ganda dimuat dalam tabel dekat tepi-tepi zone).

Sebuah perataan umum titik kontrol yang baru, diselesaikan dalam tahun 1983 oleh NGS, akan mengganti perataan umum yang terakhir yaitu tahun 1927. Hasilnya adalah lintang dan bujur geodetik diperbaharui untuk semua stasiun kontrol, sehingga menghasilkan koordinat bidang negara bagian yang baru baginya. Di beberapa tempat kedudukan-kedudukan terhitung dapat tergeser sampai sebesar 50 ft atau lebih. Setelah selesai perataan umum, penjelasan stasiun-stasiun baru akan diterbitkan dengan koordinat dinyatakan dalam sistem metrik. Tabel-tabel baru yang memuat parameter-parameter zone untuk pemakaian dalam Persamaan (21-1) sampai dengan (21-4) juga akan tersedia dari NGS.

21-4. KOORDINAT BIDANG NEGARA BAGIAN DENGAN PEMROSESAN DATA OTOMATIK. Untuk tidak usah melihat tabel-tabel dan menyelesaikan Persamaan (21-1) sampai dengan (21-4) secara manual, NGS telah menerbitkan rumus-rumus dan tetapan-tetapan lengkap yang dipakai dalam menghitung tabel-tabel bagi masing-masing negara bagian.[3] Rumus-rumus ini, bila diprogram untuk penyelesaian dengan komputer, menghasilkan koordinat bidang negara bagian yang tepat sama dengan yang diperoleh dengan Persamaan (21-1) sampai dengan (21-4), tetapi dengan cukup hemat waktu. Lebih lanjut, sekali program telah disiapkan dan diuji, bila lintang dan bujur geodetik sebuah titik dimasukkan dengan benar ke dalam komputer, dapat dijamin hasilnya bebas dari kesalahan hitungan.

21-5. MENGHITUNG KOORDINAT TITIK POLIGON NEGARA BAGIAN. Menempatkan pengukuran pada kisi koordinat bidang negara bagian biasanya memerlukan pengukuran poligon (atau triangulasi atau trilaterasi) untuk mengawali dan mengakhiri pada stasiun-stasiun yang ada dan mempunyai koordinat bidang negara bagian diketahui dan dari mana ditetapkan garis-garis azimut kisi yang diketahui. Biasanya data ini telah tersedia untuk segera dipakai, tetapi bila tidak maka dapat dihitung seperti telah ditunjukkan asal diketahui lintang dan bujurnya.

Penting untuk diperhatikan bahwa jika sebuah pengukuran mulai dengan azimut kisi yang diketahui dan diikatkan terhadap yang lain, maka semua pengukuran di antaranya akan dengan sendirinya azimut kisi. Jadi, koreksi-koreksi untuk konvergensi meridian tidak perlu bila sistem koordinat bidang negara bagian dipakai seluruh pengukuran.

Hitungan poligon dua-sisi sederhana dalam sistem koordinat bidang negara bagian disajikan dalam paragraf ini untuk menggambarkan kesederhanaannya. Seperti terlihat dalam Gambar 21-5, poligon dimulai pada Stasiun Triangulasi Irwin di Ohio, yang memakai proyeksi kerucut konformal Lambert, dan berakhir di BM 1705. Stasiun *A* di antaranya adalah satu-satunya titik baru dalam pengukuran dan koordinatnya akan ditentukan.

---

[3]Publikasi Coast and Geodetic Survey 62-4, "State Plane Coordinates by Automatic Data Processing," dapat diperoleh dari Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

Langkah pertama adalah mereduksi jarak-jarak poligon ke permukaan laut pukul rata (permukaan sferoid),[4] dan kemudian menjadi jarak-jarak menurut kedudukannya pada kisi koordinat bidang negara bagian. Persamaan berikut ini mereduksi jarak-jarak terukur ke permukaan laut pukul rata (MSL):

$$L_s = L_m \frac{R_e}{R_e + h} \tag{21-5}$$

di mana L_s adalah jarak di permukaan laut pukul rata, L_m panjang garis terukur, R_e jari-jari menengah bumi (kira-kira 20.906.000 ft atau 6.372.200 m), dan h elevasi rata-rata garis terukur di atas MSL. Perbandingan $R_e/(R_e + h)$ biasa disebut *faktor muka-laut* (*sea-level factor*). Dalam contoh soal ini, elevasi rata-rata adalah 687 ft, dan faktornya adalah 0,999966.

Panjang di permukaan laut kemudian dikalikan dengan sebuah *faktor skala* yang diperoleh dari tabel-tabel proyeksi menurut suatu bidang tertentu pada zone di mana garis itu berada. Batas-batas reduksi ini atau kenaikannya dalam panjang muka-laut, berkisar dari nol sepanjang kedua garis yang skalanya tepat, sampai harga maksimum dan minimum yang ditentukan oleh lebar zone. Misalnya di Connecticut, koreksinya tak pernah lebih dari satu bagian dalam 40.000, tetapi pada beberapa kasus di negara-negara bagian lain dapat mencapai 1 bagian dalam 10.000 atau lebih sedikit. Untuk soal yang menjelaskan, lintang rata-rata lokasi poligon yang diperoleh dari data yang diterbitkan pada kedua stasiun titik kontrol, dipakai sebagai argumen untuk mencari pada tabel dan menemukan sebuah faktor skala sebesar 0,999941.

Hasilkali faktor muka-laut dan faktor skala biasa disebut *faktor kisi* (*grid factor*) – dalam soal ini, 0,999966 × 0,999941 = 0,999907.

Jika bentangan poligon demikian pendek sehingga faktor skala tidak nampak berubah, dan elevasi seragam seluruh areal pengukuran memungkinkan dipakainya satu faktor muka-laut tunggal, maka sebuah faktor kisi bersama menyederhanakan hitungan. Faktor itu dapat diabaikan jika mendekati 1,000000.

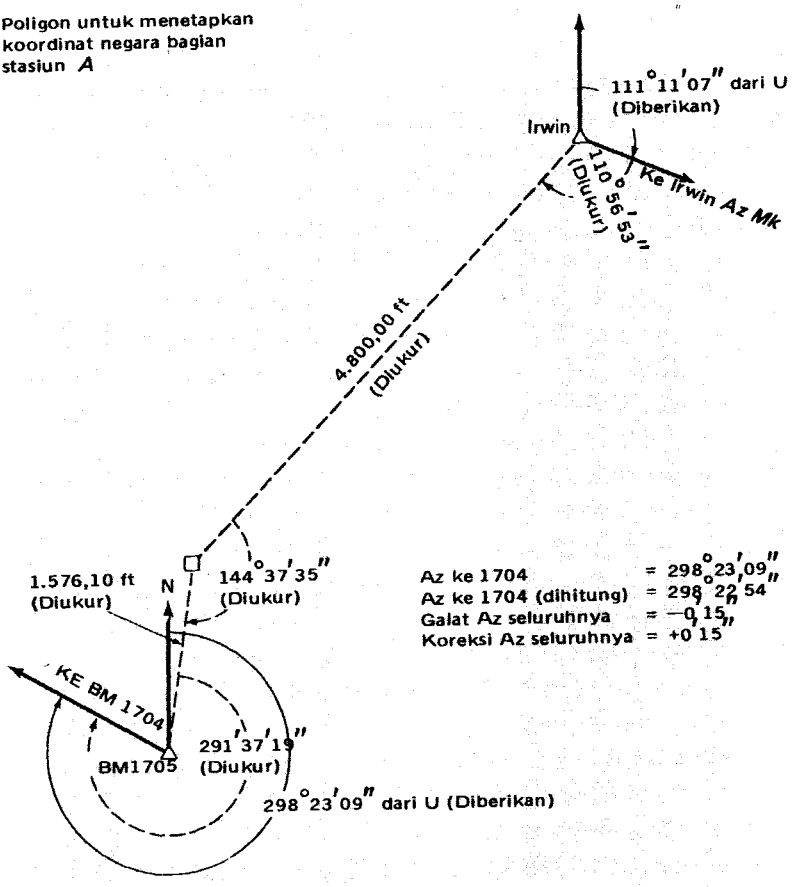
Gambar 21-5 memperlihatkan stasiun-stasiun yang diberikan atau tertentu dan garis-garis azimut untuk poligon contoh. Garis-garis putus merupakan sudut-sudut dan arah-arah terukur. Data yang terbit untuk kedua stasiun titik kontrol adalah:

Stasiun Irwin: X = 1.367.887,24 ft; Y = 442.126,54 ft.
Azimut Ke tanda azimut Irwin = 111°11′07″ dari Utara Kisi
Elevasi pendekatan = 883 ft
BM 1705: X = 1.364.481,50 ft; Y = 437.001,53 ft
Azimut ke BM 1704 = 298°23′09″ dari Utara Kisi
Elevasi pendekatan = 492 ft.

Hitungan poligon telah dilaksanakan dalam enam langkah sebagai berikut:

1. Agihan kesalahan penutup sudut untuk memperoleh azimut-azimut kisi terkoreksi untuk semua kaki poligon. Diukur sudut-sudut searah dengan searah jarum jam. Galat penutup (selisih antara azimut yang diberikan di BM 1705 dan azimut yang dihitung memakai ketiga sudut yang diukur dan azimut yang diberikan di Irwin) adalah −0°00′15″. Galat ini diagihkan rata-rata sama kepada ketiga sudut seperti ditunjukkan dalam Tabel 21-1. Azimut-azimut kisi hasil terakhir dimasukkan dalam Tabel 21-2.

[4] Michigan adalah satu-satunya perkecualian, memakai jarak-jarak yang dikonversikan pada elevasi 800 ft.



Gambar 21-5. Poligon contoh.

TABEL 21-1. KESALAHAN PENUTUP SUDUT DAN PERATAANNYA

STASIUN	DARI	KE	AZIMUT AWAL SUDUT KE KANAN AZIMUT AWAL	KOREKSI KUM. KOREKSI	AZIMUT AKHIR SUDUT KE KANAN AZIMUT AKHIR
	Irwin	Irwin Az.	111°11'07"		111°11'07" (diberikan)
Irwin	Irwin Az.	*A*	110°56'53"	+5	110°56'58"
	Irwin	*A*	222°08'00"	+5	222°08'05"
	A	Irwin	42°08'00"		42°08'05"
A	Irwin	1705	144°37'35"	+5	144°37'40"
	A	1705	186°45'35"	+10	186°45'45"
	1705	*A*	6°45'35"		6°45'45"
BM 1705	*A*	1704	291°37'19"	+5	291°37'24"
	1705	1704	298°22'54"	+15	298°23'09" (diberikan)

TABEL 21-2. KESALAHAN PENUTUP POLIGON DAN PERATAANNYA (CARA KOMPAS ATAU BOWDITCH)

STASIUN	AZIMUT KISI	JARAK TERUKUR	FAKTOR KISI	JARAK KISI	SIN COS	ΔX	ΔY	KOORDINAT KISI AWAL X KOREKSI AKHIR X	KOORDINAT KISI AWAL Y KOREKSI AKHIR X
Irwin							(Diberikan) ⟶	1.367.887,24	442.126,54
	222°08'05"	4800,00	0,999907	4799,55	−0,6708761 −0,7415694	−3219,90	−3559,20	1.364.667,34	438.567,34
								−0,20	−0,62
A								1.364.667,14	438.566,72
	186°45'45"	1576,10	0,999907	1575,95	−0,1177540 −0,9930428	−185,57	−1564,98	1.364.481,77	437.002,36
								−0,27	−0,83
BM 1705							(Diberikan) ⟶	1.364.481,50	437.001,53
		6376,10					Kesalahan penutup =	+0,27	+0,83

Kesalahan penutup linier $= \sqrt{(0.27)^2 + (0.83)^2} = 0.87$ ft

Kesaksamaan $= 0{,}87/6376 = 1/7300$

Cara Kompas (Bowditch):

Koreksi $X = -0{,}27/6{,}376 = -0{,}042$ ft/1000 ft jumlah jarak

Koreksi $Y = -0{,}83/6{,}376 = -0{,}130$ ft/1000 ft jumlah jarak

2. Reduksi jarak-jarak terukur ke jarak-jarak kisi dikerjakan dalam Tabel 21-2 dengan jalan mengalikan harga-harga di kolom ketiga dengan harga-harga di kolom keempat, atau dengan mengurangkan sebuah koreksi sebesar 0,0093 ft/100 ft (yang lebih kecil daripada 1 bagian dalam 10.000).
3. Hitungan ΔX dan ΔY.
4. Hitungan koordinat kisi awal dimuat dalam kolom terakhir Tabel 21-2. Kesalahan penutup pada arah X dan Y didapat dengan mengurangkan koordinat BM 1705 yang diberikan atau tertentu, dari yang diperoleh dengan poligon. Kesaksamaannya adalah 1 : 7330.
5. Perataan Poligon dengan cara kompas (Bowditch). Koreksi-koreksi untuk koordinat awal dihitung berbanding lurus dengan jumlah jarak poligon sampai ke suatu stasiun tertentu dan diterapkan dalam kolom-kolom terakhir untuk mendapatkan koordinat (akhir) bidang negara bagian untuk stasiun A. Koreksi-koreksi penuh (–0,27 dan –0,83) diterapkan pada BM 1705 menghasilkan harga-harga tertentu yang ditulis sebelumnya.
6. Berdasar pada koordinat (akhir) bidang negara bagian, jarak-jarak dan arah-arah kedua garis poligon yang diratakan, didapatkan dengan hitungan kebalikan dari koordinatnya sebagai berikut:

Irwin–A

$$\Delta X = 1.364.667{,}14 - 1.367.887{,}24 = -3220{,}10 \text{ ft}$$
$$\Delta Y = 438.566{,}72 - 442.126{,}54 = -3559{,}82 \text{ ft}$$
$$\text{panjang} = \sqrt{(-3220{,}10)^2 + (-3559{,}82)^2} = 4800{,}14 \text{ ft}$$
$$\text{azimut} = \text{busur tg} \left(\frac{-3220{,}10}{-3559{,}82}\right) = 222°07'53{,}4''$$

A–BM 1705

$$\Delta X = 1.364.481{,}50 - 1.364.667{,}14 = -185{,}64 \text{ ft}$$
$$\Delta Y = 437.001{,}53 - 438.566{,}72 = -1565{,}19 \text{ ft}$$
$$\text{panjang} = \sqrt{(-185{,}64)^2 + (-1565{,}19)^2} = 1576{,}16 \text{ ft}$$
$$\text{azimut} = \text{busur tg} \left(\frac{-185{,}64}{-1565{,}19}\right) = 186°45'50{,}4''$$

21-6. PENGUKURAN DARI SATU ZONE KE ZONE LAIN. Pengukuran-pengukuran di wilayah perbatasan sering masuk ke dalam zone lain atau bahkan masuk ke negara bagian yang berbatasan. Tetapi ini tidak menjadi masalah, karena zone-zone yang berdampingan saling bertampalan dengan lebar kira-kira 50 mil.

Untuk mengkonversi koordinat bidang negara bagian titik-titik dari satu zone ke zone lain, perlu dihitung lintang dan bujur dua buah titik memakai koordinat bidang negara bagian dari zone di mana pengukuran berasal. Tergantung apakah koordinat didasarkan pada proyeksi kerucut konformal Lambert atau proyeksi transverse Mercator, Pers. (21-1) atau (21-3) yang dipakai tetapi dipecahkan (diselesaikan) secara kebalikan. Dari lintang dan bujur, koordinat bidang negara bagian titik itu dihitung memakai Pers. (21-1) atau (21-3) menurut kesesuaian untuk zone yang dimasuki. Azimut kisi sebuah garis dalam zone yang dimasuki kemudian dapat diperoleh dari koordinat bidang negara bagian yang baru kedua titik itu.

Seandainya, sebagai contoh, sebuah pengukuran bermula di Wiskonsin selatan, yang memakai sistem kerucut konformal Lambert, dan membentang ke dalam wilayah Illinois utara yang memakai kisi transverse Merkator. Dengan koordinat X dan Y kedua titik di dalam batas Illinois diketahui dalam zone selatan Wisconsin, Pers. (21-1) ditulis kembali untuk titik pertama sebagai berikut:

$$R \sin \theta = X_p - C \tag{21-6}$$

$$R \cos \theta = R_b - Y_p \tag{21-7}$$

Membagi Pers. (21-6) dengan (21-7),

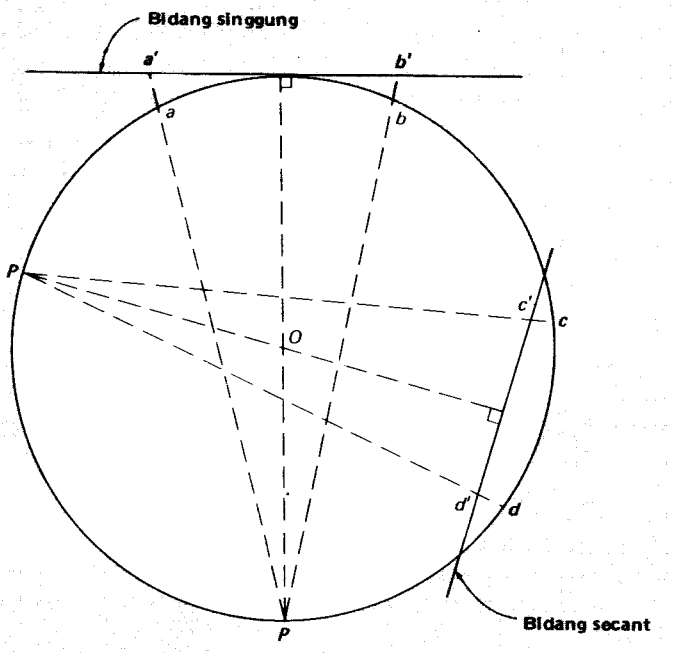
$$\text{tg } \theta = \frac{X_p - C}{R_b - Y_p} \tag{21-8}$$

Semua suku di ruas kanan Pers. (21-8) diketahui, di mana C dan R_b diperoleh dari tabel-tabel proyeksi untuk zone selatan Wisconsin, dan X_p serta Y_p tersedia dari pengukuran. Jadi dapat diperoleh sudut pemetaan θ. Kemudian R dapat diperoleh dengan memasukkan θ kembali ke dalam Pers. (21-6) atau (21-7). Akhirnya, lintang geodetik titik itu diperoleh dengan interpolasi dari tabel-tabel Wisconsin untuk harga R, dan bujur geodetik diperoleh dengan interpolasi memakai θ. Titik kedua dikerjakan dengan cara yang sama. Memakai lintang dan bujur geodetik kedua titik, Pers. (21-3) diselesaikan memakai tetapan-tetapan yang sesuai untuk zone Illinois guna memperoleh koordinat X dan Y-nya dalam zone itu. Sebuah hitungan kebalikan memakai koordinat menghasilkan azimut kisi. Dengan demikian, pengukuran dapat berlanjut masuk ke Illinois.

21-7. PROYEKSI UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR (UTM). Sistem UTM adalah proyeksi peta lain yang penting. Pada mulanya dikembangkan oleh pihak militer terutama untuk pemakaian artileri, proyeksi ini memberikan liputan seluruh dunia dari lintang 80° S, melalui equator, sampai lintang 80°U (wilayah lingkar-lingkar kutub diliput dengan sistem stereografik kutub; lihat Paragraf 21-8). Sistem UTM adalah proyeksi transverse Merkator yang mengalami perubahan, dan dalam pemakaian militer yang digunakan adalah zone-zone dengan lebar 6° bujur. Zone-zone yang berdampingan mempunyai pertampalan (overla) 30 menit.

Akhir-akhir ini proyeksi UTM telah menjadi makin penting bagi para juru-ukur, karena sistem ini telah dipakai untuk menghitung dan menerbitkan koordinat datar semua titik yang diratakan dalam NAD83 yang baru. Koordinat UTM dalam satuan metrik akan diikutsertakan bersama koordinat-koordinat bidang negara bagian dan geodetik untuk semua penjelasan stasiun yang diterbitkan seterusnya, dan kisi-kisi UTM akan dimuat dalam semua peta program pemetaan nasional. Karena lebar zone 6° bujur yang dipakai pihak militer menghasilkan ketelitian serendah 1 bagian dalam 2500, lebar zone untuk perataan baru akan dipersempit menjadi 2°, karenanya dapat memperoleh ketelitian 1 bagian dalam 10.000 yang konsisten dengan sistem bidang negara bagian.

Persamaan-persamaan untuk menghitung X dan Y koordinat UTM adalah sama dengan yang dipakai untuk proyeksi transverse Merkator. Sedangkan untuk sistem-sistem bidang negara bagian, NGS akan menerbitkan tabel-tabel yang memberikan rumus-rumus dan tetapan-tetapan untuk masing-masing zone dalam sistem. Kebaikan-kebaikan kisi UTM yang baru adalah bahwa semua titik di dalam NAD83 akan berada dalam sistem yang sama dan hitungan-hitungan antara titik-titik yang berjarak jauh dapat dikerjakan dengan mudah.



Gambar 21-6. Bidang horison singgung (tangen) dan secan proyeksi-proyeksi peta stereografik.

Ini sama sekali konsisten dengan kemampuan saat ini untuk melaksanakan pengukuran yang meliputi seluruh dunia dengan peralatan-peralatan baru seperti sistem-sistem doppler satelit (lihat Paragraf 20-15).

21-8. PROYEKSI-PROYEKSI PETA LAINNYA. Proyeksi-proyeksi peta kerucut konformal Lambert dan transverse Merkator dirancang untuk mencakup berturut-turut wilayah yang meluas ke arah timur-barat dan utara-selatan. Tetapi sistem-sistem ini tidak cocok untuk wilayah yang berbentuk melingkar atau jalur-jalur panjang di permukaan bumi yang letaknya menyerong terhadap meridian. Dua sistem lain, yaitu proyeksi *stereografik horison* dan proyeksi *Merkator miring,* memecahkan masalah-masalah ini.[5]

Proyeksi stereografik horison dapat dibagi menjadi dua kelas yaitu: *bidang tangen* (*singgung*) dan *bidang secant* (*potong*). Dalam masing-masing kelas, seperti dijelaskan pada Gambar 21-6, titik proyeksi P ada di sferoid di mana sebuah garis tegaklurus bidang peta dan melalui titik pusat O menembus sfereoid. Dalam sistem bidang singgung, titik-titik sferoid a dan b berturut-turut diproyeksikan ke arah luar menjadi a' dan b', pada bidang peta. Untuk sistem bidang potong titik-titik sferoid c dan d diproyeksikan ke arah dalam (jika keduanya di sebelah luar titik singgung, proyeksinya akan ke arah luar) menjadi c' dan d' di bidang peta. Proyeksi-proyeksi stereografik horison tidak dipakai di Amerika Serikat, tetapi dipakai di Kanada dan bagian-bagian dunia lainnya. Jika titik P adalah kutub utara atau selatan, proyeksinya disebut *stereografik kutub*; jika di ekuator, disebut *stereografik ekuatorial.*

[5]Proyeksi Merkator miring juga disebut proyeksi ortomorfik serong Hotine, dinamakan menurut seorang ahli geodesi Inggris, Martin Hotine.

Proyeksi Mercator miring dirancang untuk wilayah-wilayah yang memanjang serong misalnya baratdaya ke tenggara. Pada tahun-tahun akhir ini makin banyak dipakai di Amerika Serikat, dan dewasa ini dipakai sebagai proyeksi koordinat bidang negara bagian untuk bagian tenggara negara bagian Alaska, dan dipakai oleh U.S. Lake Survey untuk meliput wilayah-wilayah Danau Ontario dan Erie, serta Sungai St. Lawrence.

SOAL-SOAL

21-1. Jelaskan kebaikan-kebaikan penempatan pengukuran pada sistem-sistem koordinat negara bagian.

21-2. Sebutkan dua proyeksi dasar yang dipakai dalam sistem-sistem koordinat bidang negara bagian. Apakah perbedaan-perbedaannya yang mendasar? Yang manakah lebih disukai untuk negara-negara bagian yang memanjang ke arah utara-selatan? Timur-barat?

21-3. Susunlah sebuah tabel faktor muka laut untuk elevasi tanah yang berkisar dari permukaan laut sampai 10.000 ft di atas permukaan laut. Pakailah angka kenaikan 500 ft.

21-4. Seperti Soal 21-3, kecuali untuk elevasi tanah dari permukaan laut sampai 3000 m di atas permukaan laut memakai angka kenaikan 200 m.

21-5. Terangkan bagaimana pengukuran dapat diperpanjang dari satu zone koordinat bidang negara bagian ke zone lain, atau dari sebuah negara bagian ke negara bagian yang lain.

21-6. Berapakah ketelitian selisih yang diinginkan oleh NGS antara panjang garis dalam sferoid dan proyeksi dalam mengembangkan sistem koordinat bidang negara bagian? Berapakah lebar zone maksimum yang dibolehkan untuk mencapai ketelitian yang diinginkan?

21-7. Koordinat bidang negara bagian titik A dan B adalah sebagai berikut:

TITIK	X	Y
A	2.179.431,75	895.784,92
B	2.184.960,42	892.576,67

Hitung jarak kisi dan sudut arah kisi garis AB.

21-8. Seperti Soal 21-7, kecuali titik-titik A dan B mempunyai koordinat bidang negara bagian seperti berikut:

TITIK	X	Y
A	1.574.206,86	773.438,20
B	1.569.831,22	770.207,84

21-9. Stasiun A di zone utara Wisconsin (kerucut konformal Lambert) berada di lintang utara $45°21'32{,}507''$ dan bujur barat $89°44'28{,}652''$ Tetapan-tetapan untuk zone ini adalah: C = 2.000.000,00 ft dan R_b = 20.489.179,67 ft. Harga-harga R ditabelkan berturut-turut untuk lintang $45°21'$ dan $45°22'$ adalah 20.422.328,19 ft dan 20.416.250,84 ft, dan harga-harga θ ditabelkan berturut-turut untuk bujur $89°44'$ dan $89°45'$ adalah $+0°11'32{,}5160$ dan $+0°10'49{,}2337''$. Hitunglah koordinat bidang negara bagian untuk titik A.

21-10. Titik B, dekat stasiun A pada Soal 21-9, mempunyai koordinat bidang negara bagian X = 2.081.867,24 ft dan Y = 77.946,99 ft. Hitunglah panjang kisi, azimut kisi dan azimut geodetik garis AB.

21-11. Stasiun Hill di zone selatan Pennsylvania (kerucut konformal Lambert) mempunyai lintang utara $40°10'36{,}205''$ dan bujur barat $79°43'48{,}079''$. Tetapan-tetapan untuk zone ini adalah $C = 2.000.000{,}00$ ft dan $R_b = 24.984.826{,}43$ ft. Harga-harga R ditabelkan berturut-turut untuk lintang $40°10'$ dan $40°11'$ adalah 24.681.260,43 ft dan 24.675.189,10 ft dan harga-harga θ ditabelkan berturut-turut untuk bujur $79°43'$ dan $79°44'$ adalah $-1°16'33{,}4556''$ dan $-1°17'12{,}3832''$. Tentukan koordinat bidang negara bagian untuk titik ini.

21-12. Stasiun Vale, di dekat stasiun Hill pada Soal 21-11, mempunyai koordinat bidang negara bagian $X = 1.455.253{,}84$ dan $Y = 315.987{,}55$. Hitunglah panjang kisi azimut kisi, dan azimut geodetik garis Hill-Valle.

21-13. Sebuah stasiun di zone barat Indiana (transverse Mercator) mempunyai lintang utara $39°25'19{,}068''$ dan bujur barat $87°40'58{,}795''$. Tetapan K untu zone ini adalah 500.000,00 ft dan bujur meridian tengah adalah $87°05'00{,}000''$. Harga-harga untuk Y_o, H, V dan a untuk lintang $39°25'$ dan $39°26'$ ditabelkan sebagai berikut:

LINTANG	Y_o	H	V	a
39°25′	697.992,23	78,482017	1,208187	−0,730
39°26′	704,062,75	78,463323	1,208326	−0,727

Harga-harga untuk b dan c terhadap $\Delta\lambda''$ adalah:

$\Delta\lambda''$	b	c
2100	+3,218	−0,085
2200	+3,293	−0,091

Hitunglah koordinat bidang negara bagian titik ini.

21-14. Koreksi-koreksi apakah yang harus diberikan kepada jarak-jarak miring terukur sebelum menghitung koordinat bidang negara bagian?

21-15. Dalam menghitung koordinat bidang negara bagian untuk sebuah wilayah proyek yang elevasi rata-ratanya adalah 3480 ft di atas permukaan laut, dipakai sebuah faktor skala rata-rata sebesar 0,9999375. Jarak-jarak yang diberikan antara titik-titik di wilayah proyek ini telah dihitung dari koordinat bidang negara bagian. Berapakah jarak horisontal harus diukur untuk memasang jarak-jarak ini di tanah?
(a) 950,00 ft
(b) 2485,50 ft

21-16. Serupa Soal 21-15, kecuali bahwa elevasi rata-rata wilayah proyek adalah 1235 m, faktor skalanya 1,0000863, dan panjang-panjang jarak dihitung adalah:
(a) 675,821 m
(b) 1246,950 m

21-17. Negara bagian manakah memakai proyeksi Merkator miring untuk sistem koordinat negara bagiannya? Mengapa?

21-18. Panjang garis horisontal di tanah sebuah poligon tertutup bersisi tiga adalah terukur sebagai berikut: $AB = 1754{,}93$, $BC = 2400{,}23$ dan $CA = 3147{,}54$ ft. Jika elevasi wilayah rata-rata adalah 2025 ft di atas permukaan laut, hitunglah panjang garis-garis itu di permukaan laut.

21-19. Bila dianggap faktor skala untuk poligon pada Soal 21-18 adalah 0,9999364, hitunglah panjang-panjang kisi garis poligon.

21-20. Untuk poligon pada Soal 21-18, azimut kisi sebuah garis dari A ke tanda azimut di dekatnya adalah $125°17'48''$ dan sudut searah jarum jam terukur di A dari tanda azimut ke B adalah $118°22'51''$. Sudut-sudut dalam terukur adalah $A = 49°11'07''$, $B = 97°14'15''$, dan $C = 33°35'02''$. Ratakan sudut-sudutnya dan hitunglah azimut-azimut kisi untuk garis-garis poligon.

21-21. Menggunakan jarak-jarak kisi pada Soal 21-19 dan azimut-azimut kisi dari Soal 21-20, hitunglah ΔY dan ΔX, kesalahan penutup linier, dan kesaksamaan poligon itu.

21-22. Jika stasiun A mempunyai koordinat bidang negara bagian X = 2.063.294,81 dan Y = 563.042,46, ratakanlah ΔY dan ΔX yang dihitung dalam Soal 21-21 memakai cara kompas (Bowditch), dan tentukan koordinat-koordinat bidang negara bagian stasiun B dan C.

21-23. Panjang jarak-jarak horisontal di tanah sebuah poligon tertutup bersisi-empat, telah diukur dengan hasil sebagai berikut: AB = 384,707 m. BC = 666,343 m, CD = 523,797 m, dan DA = 680,840 m. Jika elevasi wilayah rata-rata di atas permukaan laut adalah 1545 m dan faktor skala untuk poligon 1,0000996, hitunglah panjang kisi garis-garisnya.

21-24. Untuk poligon pada Soal 21-23, sudut arah kisi garis BC adalah U57°29′18″B. Sudut-sudut dalam (ke kanan) terukur sebagai berikut: A = 119°25′26″, B = 72°47′54″, C = 102°28′01″ dan D = 65°18′27″. Ratakan sudut-sudutnya dan hitunglah sudut arah kisi tiap garis poligon.

21-25. Memakai panjang jarak kisi adalah Soal 21-23 dan sudut-sudut arah kisi dari Soal 21-24, hitunglah ΔY dan ΔX, kesalahan penutup linier, dan kesaksamaan poligon. Ratakanlah ΔY dan ΔX dengan cara kompas (Bowditch). Jika koordinat bidang negara bagian titik B adalah X = 712.666,481 m dan Y = 179.341,609 m, hitunglah koordinat-koordinat bidang negara bagian untuk titik-titik C, D dan A.

DAFTAR PUSTAKA

Doyle, F.J. 1973. "Pemetaan Federal dan Kisi Nasional" *Surveying and Mapping* 33(no. 3):305.

Dracup, J.F. 1977. "Perataan Baru Datum Amerika Utara: Sistem-sistem Koordinat Bidang Datar." *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping,* no. 59, hal. 27.

Howe, R.F. 1970. "Koordinat melawan Kekacauan." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 96(no. SU2): 191.

Hulbert, D.D., dan J.D. McDonald. 1976. "Titik Kontrol Horisontal di Kansas City dengan Koordinat Bidang Negara Bagian." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 102(no. SU1): 9.

Lindsey, J.A. 1969. "Penempatan Kembali Titik-titik Batas Pemerintah pada Sistem Koordinat Bidang Negara Bagian." *Surveying and Mapping* 29(no. 3): 401.

McDonnel, P.W., Jr. 1980. *Pengantar Proyeksi Peta.* New York: Dekker.

Meade, B.K. 1973. "Sistem-sistem Koordinat untuk Pengukuran dan Pemetaan." *Surveying and Mapping* 33 (no. 3): 337.

Pryor, W.J. 1973. "Koordinat Bidang untuk Pengukuran-pengukuran Rekayasa dan Kadastral." *Surveying and Mapping* 33(no. 3): 317.

Read, J.R. 1981. "Sebuah Sistem Koordinat untuk Amerika Utara berdasar pada Zone 6° UTM." *Surveying and Mapping* 41(no. 1):83.

22 PENGUKURAN – PENGUKURAN BATAS

22-1. PENGANTAR. Pengukuran-pengukuran pada mulanya dikerjakan untuk menentukan atau menetapkan kembali letak garis-garis batas pemilikan tanah. Sejak jaman Nabi Isa a.s.[1] sewaktu pengrusakan tugu tanda batas diancam dengan hukuman mati sampai jaman kolonial George Washington,[2] yang mendapat surat pengakuan sebagai juru-ukur dari Sekolah Tinggi William dan Mary di Virginia, dan selama bertahun-tahun sampai sekarang, pohon-pohon dan benda alami lainnya, atau pancang-pancang yang ditancapkan ke tanah, telah dipakai untuk tanda pengenal titik-titik sudut batas.

Karena nilai tanah meningkat dan terjadi sengketa pemilikan tanah, jelaslah kiranya bahwa penting sekali ada pengukuran yang lebih teliti, tugu-tugu batas yang tetap dan catatan-catatan dokumen tertulis. "Ketika Texas menjadi sebuah negara bagian pada tahun 1845, tanah umum berjumlah sekitar 172.700.000 acre, yang dapat diperoleh oleh Pemerintah Amerika Serikat sebagai pembayaran hutang Republik Texas yang bertumpuk menjadi sekitar $13.000.000. Tetapi, Kongres mengizinkan orang-orang Texas tetap memiliki tanahnya dan membayar hutang mereka sendiri."[3] Pada waktu itupun sudah merupakan

---

[1] "Terkutuklah dia yang menghilangkan tanda batas tanah tetangga. Dan semua orang akan berkata Amin." Deut. 27:17.

[2] "Tandailah tanah dengan baik, karena merupakan kekayaan kita yang paling berharga." George Washington.

[3] Rupert F. Carroll; "Pengukuran Hak Milik harus cocok dengan Hak-haknya," *ASCE Proceedings*, Juli 1949.

harga yang murah, sekitar 7,6 sen/acre. Beberapa tahun yang lalu, tanah di Waikiki, Honolulu, terjual jauh lebih dari $\$100/ft^2$ atau lebih dari \$5.000.000/acre. Di Tokyo harga tanah bahkan bisa lebih mahal.

Hak-hak atas tanah sekarang dialihkan dengan dokumen tertulis yang disebut *deeds* (akta) yang meliputi *grant* (hibah), *quitclaim* (pelepasan hak), *agreement* (perjanjian), atau *warranty* (agunan) yang mengandung atau berisi penjelasan batas-batas pemilikan. Berbagai cara menjelaskan antara lain (a) ukuran dan batas (metes and bounds), (b) nomor blok dan bidang, (c) harga koordinat tiap titik sudut batas, dan (d) pengkaplingan township, seksi (section) dan lebih kecil. Tiga cara pertama dibicarakan dengan singkat dalam bab ini, sedangkan cara keempat dibicarakan dalam Bab 23.

Dewasa ini pengukuran tanah milik tidak asli lagi tetapi merupakan pengukuran kembali seluruhnya atau sebagian. Dalam meletakkan kembali garis-garis lama, seorang juru-ukur harus menggunakan pertimbangan matang yang berdasar pada pendidikan, pengalaman praktis dan pengetahuan tentang hukum-hukum pertanahan, di samping ketelitian dalam melaksanakan pengukuran. Matematika yang diperlukan dan pemakaian teodolit kompas, teodolit, alat sipat datar, pita ukur dan EDMI secara benar dapat dipelajari dalam waktu yang nisbi singkat. Latar belakang ini harus didukung dengan keuletan dalam mencari arsip-arsip semua hak milik yang bersebelahan maupun mempelajari catatan-catatan riwayat tanah yang bersangkutan. Dalam pekerjaan lapangan, seorang juru ukur harus terus mengusahakan agar dapat menemukan tanda-tanda batas yang disebutkan oleh aktanya. Seringkali perlu diperoleh kesaksian dari orang-orang yang mempunyai pengetahuan tentang batas tanah yang diakui, dan lokasi titik-titik sudut, titik-titik acuan, pagar-pagar, dan bukti-bukti lain mengenai garis-garis yang benar.

Juru-ukur zaman modern dihadapkan pada berbagai ragam masalah yang terjadi lebih dari dua abad yang telah lalu, dengan teknologi berbeda dan sistem hukum yang berbeda, yang sekarang ini memerlukan penyelesaian profesional. Hal ini termasuk pengukuran kompas dan rantai yang cacat; penjelasan dan bidang kapling dengan garis-garis sekutu yang tidak cocok untuk bidang-bidang tanah yang berdampingan; tanda-tanda batas dan tanda-tanda acuan yang hilang atau hancur; cerita-cerita yang bertentangan dari penduduk setempat; masalah-masalah hak guna air; dan sejumlah besar yurisprudensi kasus-kasus yang melibatkan batas-batas pemilikan tanah.

Tanggungjawab seorang juru-ukur profesional adalah menyaring semua bukti dan mencoba memperoleh suatu pertemuan pendapat di antara pihak-pihak dalam suatu sengketa batas pemilikan, walaupun tanpa petugas hukum untuk memaksakan sebuah kompromi atau penyelesaian. Menetapkan batas-batas hak harus dikerjakan atas persetujuan pemilik-pemilik yang berbatasan atau tindakan pengadilan. Untuk bertindak sebagai saksi ahli dalam sidang pengadilan untuk menetapkan batas-batas, seorang juru-ukur harus terdaftar.

Karena rumitnya keputusan-keputusan teknis dan pertimbangan yang harus dibuat, biaya asuransi pertanggungjawaban juru-ukur profesional untuk "kesalahan dan penghapusan" yang makin meningkat, telah menjadi sebagian besar biaya operasional. Beberapa pemakai jasa menuntut bahwa seorang juru-ukur mempunyai asuransi tersebut untuk perlindungan semua pihak.

Banyak pemerintah kota mempunyai undang-undang yang keras mengenai pengkaplingan. Peraturan dapat menentukan ukuran minimum kapling; kesalahan penutup untuk pengukuran; jenis tanda batas sudut yang dipakai; lebar jalan minimum dan prosedur penyerahannya; peraturan-peraturan pendaftaran bidang tanah; dan hal-hal lain. Tata ruang tak sepadan antara jalan dan jalan raya yang ada dewasa ini mestinya dapat dihindarkan dengan peraturan-peraturan pengkaplingan yang cocok di masa lampau.

Berbagai masalah yang berkaitan dengan hak perusahaan perumahan dan peralihan hak telah memberikan dorongan untuk penelitian dan pengembangan ke arah pelaksanaan

Sistem-sistem Data Tanah Modern (Modern Land Data Systems, MOLDS). Kadang-kadang disebut sebagai "kadaster modern," sistem ini menghimpun bank data dengan komputer di lokasi-lokasi pusat. Informasi yang tersedia untuk disadap cepat dapat termasuk penjelasan bidang dan tanda-tanda pengenalnya, kedudukan (posisi) geografisnya, catatan arsip pemilikan, hak menggunakan terbatas, tata guna tanah, jenis tanah, dan data khusus. Sistem-sistem semacam ini dapat amat berharga bagi juru-ukur, pengacara, pemborong bangunan, perancang, pengamat lingkungan, pejabat pemerintah, dan lain-lain.

22-2. ALAS HAK-HAK TANAH. Di bagian timur Amerika Serikat orang-orang pribadi memperoleh hak tanah pertama kali dengan jalan hibah atau pembelian dari Kerajaan Inggris. Pengukuran dan peta-peta sama sekali kurang atau tak cukup, dan penjelasan hanya dapat bersifat umum. Sisa tanah di 13 jajahan dipindahkan (dialihkan) kepada Amerika Serikat pada akhir Perang Revolusioner. Belakangan tanah ini dipecah-pecah dan diberikan kepada individu, umumnya dalam bentuk-bentuk bidang tak teratur. Garis-garis batas dijelaskan dengan pengukuran dan perbatasan (arah dengan sudut arah magnetik dan jarak dalam rantai Gunter, poles atau rods).

Banyak peralihan asli dan pemilikan dan pengkaplingan berikutnya tidak terdaftar. Bidang-bidang yang terdaftar secara sah biasanya mempunyai uraian yang sangat kurang atau cacat, karena ketika itu tanah murah dan banyak. Pohon, batu dan tanda-tanda alamiah dipakai untuk menentukan titik sudut, seperti pada penjelasan ukuran dan batas contoh pertama (lihat Paragraf 22-3) segera terganggu. Perpotongan dua garis batas pemilikan mungkin hanya dijelaskan sebagai "tempat di mana John membunuh seekor beruang" atau "belokan di jalan setapak dari gubuk Jones ke sungai."

Banyak masalah dalam pengukuran tanah berasal dari kekacauan yang timbul oleh hak-hak pemilikan, penjelasan dan pengukuran dengan kompas yang lama. Lokasi ribuan titik sudut telah ditetapkan dengan kompromi setelah pengukuran kembali, atau dari interpretasi pengalihan terhadap semua bukti yang ada bersangkutan dengan kedudukan asli atau yang diinginkan. Titik-titik sudut lain telah ditetapkan dengan *hak penguasaan* (squatters' rights), *pemilikan paksa* (adverse possession), dan *perubahan batas perairan* (riparian changes). Banyak batas masih diragukan, terutama di wilayah-wilayah dengan tanah sembir (marginal) di mana biaya pengukuran yang baik ("penyelidikan riwayat") melebihi harga tanahnya.

Kenyataan bahwa keempat titik sudut dapat ditemukan dan bahwa jarak-jarak di antaranya cocok dengan penjelasan yang ada, tidak pasti berarti bahwa keempatnya ada di tempat yang benar. Hak dan pemilikan hanya lengkap bila tanah yang dinyatakan dalam akta ditandai dan ditentukan lokasinya di tanah dengan pasti.

Undang-undang pertanahan sejak jaman Konstitusi telah dipertahankan sebagai wewenang sebuah negara bagian, yang dapat ditafsirkan oleh sistem pengadilan negara bagian. Jutaan tanah kapling telah diciptakan di Amerika Serikat selama lebih dari empat abad yang lalu dengan teknologi dan sistem peraturan yang berbeda. Beberapa dari masalah tak terhitung itu berlanjut sampai sekarang dihadapi oleh juru-ukur profesional, dilengkapi dengan peralatan yang jauh lebih baik, dibicarakan dalam bab ini dan dalam Bab 23.

Ukuran dan uraian pengukuran tanah mengikuti pokok-pokok dasar ilmu ukur tanah datar. Tetapi pengalaman bertahun-tahun di suatu negara bagian diperlukan oleh seorang juru-ukur untuk menjadi kenal dengan kondisi lokal, titik-titik acuan dasar, dan tafsiran yuridis atas masalah-masalah batas yang rumit. Cara-cara yang dipakai di satu negara bagian untuk membagi rata selisih-selisih antara jarak tercatat dan terukur bisa saja tidak berlaku di negara bagian lain. Peraturan tentang kapan dan bagaimana pagar menentukan garis pemilikan, adalah tidak sama di semua negara bagian atau bahkan di negara-negara bagian yang berdampingan.

Istilah *lokasi praktis* dipakai oleh bidang hukum untuk menggambarkan suatu kesepakatan, baik tersurat atau tersirat, di mana dua pemilikan berdampingan menyelesaikan sengketa batas atau tanda batas tak jelas. Prinsip-prinsip tertentu masuk dalam proses dan batas yang ditetapkan menjadi permanen.

Penafsiran berbeda diberikan secara lokal terhadap (a) keunggulan atau kepastian sebuah jarak terhadap jarak lain yang berhubungan; (b) kedudukan batas-batas yang ditunjukkan oleh penghunian; (c) nilai titik-titik sudut yang ada di sebuah bidang dan pemecahannya; dan (d) banyak faktor lainnya. Oleh karena itu pendaftaran juru-ukur disyaratkan di semua negara bagian untuk melindungi kepentingan umum.

22-3. GAMBARAN HAK MILIK DENGAN UKURAN DAN PERBATASAN. Penjelasan dengan ukuran dan perbatasan (garis batas atau batas pemilikan) mempunyai sebuah *titik awal* (point of beginning, POB), misalnya sebuah pancang, tiang pagar, perpotongan jalan, atau suatu ciri alamiah. Panjang dan sudut arah garis-garis berturut-turut dari titik awal diberikan. Harga-harga dalam rantai, "poles," dan "rods" sedang diganti dengan jarak dalam feet dan desimal, dan lambat laun dengan satuan-satuan metrik. Sebuah lokakarya American Congress on Surveying and Mapping (ACSM) tahun 1975 tentang metrik antara lain menyarankan agar (a) juru-ukur segera menunjukkan persamaan harga untuk luas dalam meter persegi atau hektar, tergantung ukuran bidang, pada semua rencana untuk pencatatan; dan (b) penjelasan yang sah atas akta-akta yang ada, rencana-rencana arsip, atau bidang-bidang tanah diubah menjadi sistem metrik hanya jika dan bila terjadi pemindahan hak atau pengkaplingan.

Sudut arah dapat berwujud anggapan, magnetik atau sebenarnya, di mana yang terakhir lebih disukai. Kecermatan harus dijaga agar jelas dapat ditunjukkan meridian mana yang merupakan basis sudut-sudut arah sehingga tidak timbul kekacauan. Sebuah peraturan pengukuran West Virginia mengharuskan garis-garis luar pengkaplingan baru didasarkan pada meridian sebenarnya, jadi memerlukan pengamatan astronomis oleh seorang juru-ukur untuk tiap pengkaplingan kecuali berbatasan dengan yang lain di mana telah dilaksanakan pengamatan astronomis, atau dekat suatu garis lain yang diketahui azimut sebenarnya.

Dalam menetapkan kembali lokasi pengukuran lama, urutan bobot kepentingan biasanya diatur sebagai berikut: (1) tanda-tanda atau tugu-tugu di tempat; (2) mengharuskan adanya batas-batas bidang yang berdampingan; dan (3) arah-arah dan jarak-jarak ditunjukkan dalam catatan asli atau gambar situasinya. Jika ada angka-angka dieja dengan kata dan juga diberikan sebagai bilangan, maka kata-kata itulah yang dianggap benar kecuali ada bukti lain. Kemungkinan salah letak angka lebih besar daripada salah ejaan – dan pengacara lebih suka kata-kata!

Penjelasan hak milik ditulis oleh pengacara dan juru-ukur. Sebuah kesalahan tunggal dalam menuliskan harga numeris, atau satu kata salah atau salah letak atau tanda baca, dapat berakibat tuntutan pengadilan selama lebih dari satu generasi, karena maksud-maksud penjual tanah dan pembeli tidak dipenuhi dengan jelas.

Pentingnya tugu-tugu permanen sudah jelas; dalam kenyataannya beberapa negara bagian menentukan pipa, paku besi, dan/atau tanda dari beton yang cukup panjang hingga mencapai di bawah garis beku pada semua sudut bidang tanah sebelum pengukuran akan dapat diterima untuk pencatatan. Sebenarnya, hampir apa saja dapat dijadikan tugu titik. Sebuah peta ditempelkan pada penjelasan dapat memberi keterangan, dan pemakaian skala memberikan pengecekan kasar pada sudut-sudut dan jarak-jarak.

Untuk meningkatkan kesaksamaan pengukuran tanah milik, kota-kota besar dan beberapa negara bagian telah menetapkan jaringan tugu-tugu titik kontrol untuk melengkapi stasiun-stasiun triangulasi NGS. Titik-titik pojok tanah milik dapat diikatkan pada titik-titik kontrol itu dan garis-garis batas ditentukan kembali lokasinya dengan keyakinan.

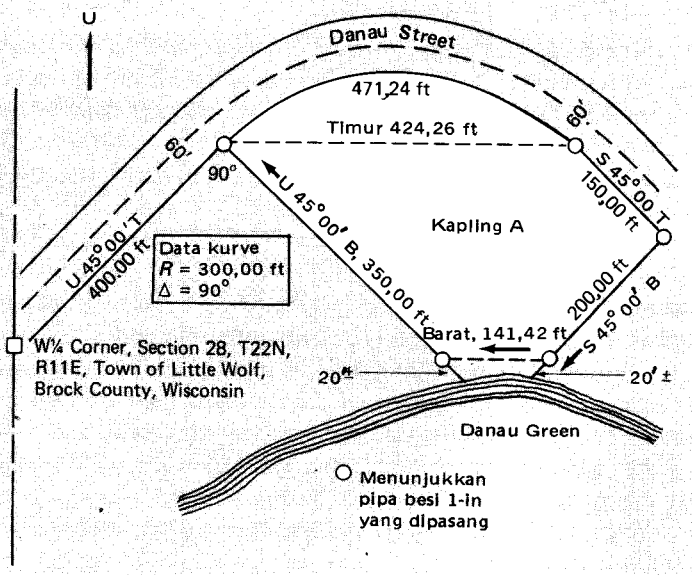
Penjelasan tentang tanah dalam akta harus selalu berisi keterangan yang berikut sebagai tambahan pada uraian:

1. *Titik awal* (point of beginning – POB). Titik ini harus dapat dikenal, permanen, diberi acuan yang baik, dan merupakan salah satu titik pojok tanah. Koordinat, lebih disukai koordinat bidang negara bagian, seharusnya diberikan bila diketahui atau dapat dihitung. Perhatikan bahwa sebuah POB tidak lebih penting daripada lainnya dan tugu yang harus ada di tempatnya pada pojok sebelahnya menetapkan kedudukannya, walaupun sudut arah dan jarak terhadapnya tidak cocok.
2. *Pojok-pojok tertentu.* Pojok-pojok demikian adalah titik-titik yang jelas kepastiannya dengan koordinat bila mungkin.
3. *Panjang dan arah sisi-sisi hak milik.* Semua panjang dalam feet dan desimal (atau satuan-satuan metrik), dan arah dengan sudut, sudut arah sebenarnya, atau azimut harus dinyatakan untuk memungkinkan penghitungan bila ada kesalahan penutup. Menghilangkan panjang atau sudut arah garis penutup ke POB dan menggantinya dengan ungkapan "dan dari tempat itu ke titik awal" tidak bisa diterima lagi. Tanggal pengukuran diperlukan dan khususnya penting jika sudut arah diukur terhadap utara magnetik.
4. *Nama-nama pemilik tanah yang bersebelahan.* Ini berguna untuk menunjukkan maksud sebuah akta dalam hal ada kesalahan dalam penjelasan menimbulkan kesenjangan atau menimbulkan tumpang tindih (pertampalan). Tetapi penetapan tugu-tugu di tempat akan mengatur hak pemilik yang bersebelahan.
5. *Luas.* Luas tanah yang dimaksud biasanya diberikan sebagai bantuan dalam penentuan nilai dan pengenalan sebidang hak milik. Luas tanah pedesaan dinyatakan dalam acre atau hektar; luas kapling perkotaan dalam feet persegi atau meter persegi. Karena perbedaan dalam pengukuran, dan tergantung pada metode perataan yang dipakai untuk sebuah poligon (kompas, transit, kuadrat terkecil, dan sebagainya), luas, sudut dan jarak yang dihitung seorang juru-ukur dapat berbeda hasilnya dibandingkan dengan yang dihitung juru-ukur lain.

Pernyataan "kurang lebih" yang mungkin menyertai suatu luas terhitung hanya boleh mempunyai galat kecil. Ini menghindarkan dari "tuntutan yang mengganggu" akibat adanya keragaman yang tak berarti.

Sebagian penjelasan ukuran-dan-batas untuk sebidang tanah dalam Gambar 22-1 diberikan sebagai contoh.

Bagian Barat Daya $\frac{1}{4}$ dari Barat Laut $\frac{1}{4}$ Section 28, T 22 U, R 11 T, Kota Little Wolf, Brock County, Wisconsin, dijelaskan sebagai berikut: Berawal pada sebuah tugu batu pada sudut $B\frac{1}{4}$ Section 28 tersebut; dari sana U45°00′T, 400,00 feet sepanjang garis penguasaan sebelah tenggara Lake Street ke sebuah pipa besi 1″ di titik awal penjelasan ini, titik tersebut juga menjadi titik lingkar sebuah lengkungan ke kanan bersudut pusat 90°00′ dan jari-jarinya 300,00 feet; dari sana ke arah Timur, 471,24 feet sepanjang busur lengkungan, yang tali busur panjangnya ke arah Timur, 424,26 feet, ke sebuah pipa besi 1″ pada titik singgungnya, busur tersebut juga merupakan garis penguasaan sebelah Selatan Lake Street; dari sana berlanjut sepanjang garis penguasaan Barat Daya Lake Street, S45°00′T, 150,00 feet ke sebuah pipa besi 1″; dari sana S45°00′B 200,00 feet ke sebuah pipa besi ditempatkan pada U45°00″T, 20 feet lebih kurang, dari batas air Danau Green, dan merupakan awal garis belokan sepanjang danau, dari sana Barat 141,42 feet sepanjang belokan tersebut ke sebuah pipa besi 1″ diujung garis belokan; pipa tersebut ditempatkan U45°00′B, 20 feet, lebih kurang, dari tepi air tersebut; dari sana U45°00′B, 350,00 feet ke sebuah pipa besi pada titik awal . . . termasuk semua tanah yang terletak antara garis belokan yang dijelaskan di sini dan pantai



Gambar 22-1. Bidang tanah ukuran-dan-batas.

Utara Danau Green, yang terletak antara perpanjangan sebenarnya garis-garis batas bidang tanah yang dijelaskan ini, bidang tersebut mempunyai luas 2,54 acre. Sudut-sudut arah didasarkan pada arah utara astronomik.

Dua buah contoh penjelasan ukuran-dan-batas lama berasal dari Amerika Serikat sebelah timur akan diberikan. Yang pertama, bagian dari sebuah akta lama yang terdaftar di Maine, berbunyi sebagai berikut:

> Berawal dari sebuah pohon apel yang terletak kira-kira sejauh 5 menit berjalan dari tangga Trefethens dari sana ke arah timur ke sebuah pohon apel, dari sana ke arah selatan menuju sebuah batu, dari sana ke arah barat ke sebuah pohon apel, dari sana ke arah utara menuju titik awal.

Dengan adanya banyak pohon apel dan batu yang bertebaran, jelaslah kiranya kesulitan bagi seorang juru-ukur untuk menetapkan kembali batas-batas tanah ini bertahun-tahun kemudian.

Yang kedua, sebuah penjelasan lama yang lebih khas untuk bidang tanah perkotaan menunjukkan kurangnya kesaksamaan yang sebanding dalam sudut dan jarak, tertulis sebagai berikut:

> Berawal dari sebuah titik di sisi barat Beech Street ditandai dengan sebuah sumbat kuningan terpasang pada sebuah tugu beton yang letaknya seratus dua belas lima per sepuluh (112,5) feet ke arah barat dari sebuah tugu kota no. 27 di persimpangan jalan Beech Street dan West Avenue; dari sana sepanjang garis barat Beech Street Selatan $15^{\circ}14'30''$ Timur lima puluh (50) feet ke arah sebuah sumbat pada sebuah tugu beton; dari sana membentuk sudut tegaklurus ke Beech Street Selatan $74^{\circ}45'30''$ Barat seratus lima ouluh (150) feet ke sebuah paku besi; dari sana membentuk sudut tegaklurus Utara $15^{\circ}14'30''$ Barat sejajar Beech Street lima puluh (50) feet ke sebuah paku besi; dari sana membentuk sudut tegaklurus Utara $74^{\circ}45'30''$ Timur seratus lima puluh

(150) feet ke titik awal; dibatasi di sebelah Utara oleh Norton, di timur oleh Beech Street, di Selatan oleh Stearns, dan di sebelah Barat oleh Weston.

22-4. GAMBARAN (PENJELASAN) HAK MILIK DENGAN SISTEM BLOK-DAN-KAPLING (BLOCK AND LOT SYSTEM). Dalam pengkaplingan dan di kota-kota besar, lebih mudah mengenali bidang-bidang kapling dengan *nomor blok dan kapling,* dengan nomor *bidang dan kapling* atau *dengan nomor kapling dan nama pengkaplingan.*

Contoh:

Kapling 34 Bidang 12314 sesuai peta tercatat dalam buku 232, halaman 23 dan 24 peta-peta, di kantor pencatatan county Los Angeles.

Kapling 9 kecuali 12 feet Utara dari padanya dan 26 feet Timur dari Kapling 10, Tambahan Broderick sampai Minneapolis. [Bagian-bagian dua kapling dimasukkan dalam bidang yang dijelaskan].

Potongan Kapling 306 Bidang 4178 di dalam Kota Los Angeles, sesuai Peta terdaftar dalam Buku 75, halaman 30 sampai 32 termasuk peta-peta di dalam kantor Pencatatan County yang bersangkutan, terletak sebelah tenggara sebuah garis yang terentang ke arah Barat Daya tegaklurus dari arah Timur Laut garis Kapling tersebut, dari sebuah titik pada garis di arah Timur Laut tersebut ke arah Tenggara 23,75 feet dari titik sudut paling Utara Kapling tersebut.

Buku-buku peta di dalam Kantor Pencatatan Kota atau County menjelaskan lokasi dan ukuran semua blok dan kapling. Sekarang merupakan praktek yang umum untuk mensyaratkan para petugas pengkaplingan agar menyerahkan sebuah peta kepada kantor yang bersangkutan, yang menunjukkan jenis dan lokasi tugu-tugu, ukuran kapling, dan keterangan yang berkaitan seperti pemberian nama jalan. Jelaslah bahwa jika garis batas-batas sebidang tanah diragukan, demikian pulalah garis batas-batas kapling di dalamnya.

Sistem blok-dan-kapling adalah cara yang singkat dan unik untuk menjelaskan hak milik untuk tujuan perpajakan ataupun peralihan hak. Penunjukan dengan jalan dan nomor rumah hanya cocok untuk pencatatan perhitungan pajak.

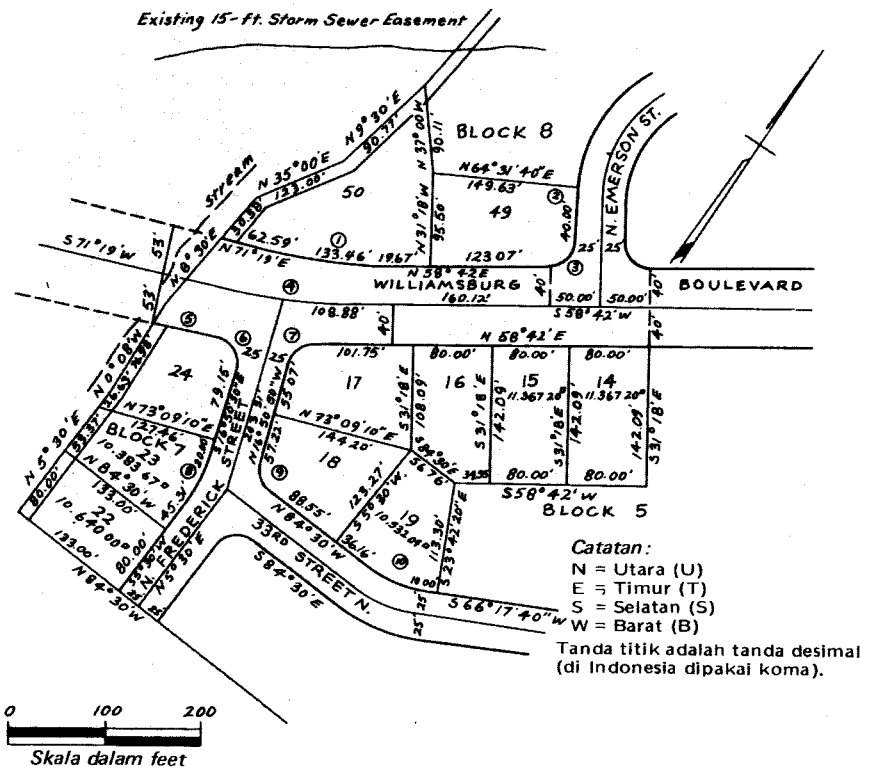
Gambar 22-2 merupakan contoh pengkaplingan kecil dengan sistem blok-dan-kapling.

22-5. GAMBARAN HAK MILIK DENGAN KOORDINAT. Kebaikan-kebaikan sistem koordinat bidang negara bagian dalam meningkatkan ketelitian pengukuran lokal dan dalam mempermudah penentuan lokasi kembali titik sudut yang hilang dan tak berbekas, menyebabkan pengakuan secara sah dalam menjelaskan pemilikan tanah. Titik sudut yang dijelaskan dengan koordinat dapat dipakai secara sendiri dalam berbagai satuan termasuk metrik, tetapi biasanya disiapkan dalam kaitannya dengan sebuah cara alternatif. Pemakaian sistem koordinat secara lebih luas akan dilaksanakan bila telah tersedia lebih banyak titik acuan bagi juru-ukur setempat.

Sebuah penjelasan sebidang tanah di California dengan koordinat, adalah seperti berikut.

Sebidang tanah-pasang-surut, di tanah Rawa Seven Mile, milik Negara Bagian, Sancramento County, California, dalam Seksi terproyeksi 10, T 3 N, R 3 E, Mt. Diablo Meridian, lebih khusus dijelaskan sebagai berikut:

MULAI pada sebuah titik di tepi selatan Rawa Seven Mile yang berarah S62°37′T, 860 ft dari sebuah tutup perunggu California State Land Commission terpasang dalam beton tercetak "JACK 1969", titik tersebut mempunyai koordinat X = 2.106.973,68 dan Y = 164.301,93 seperti ditunjukkan pada Catatan Pengukuran Tanah Owl Island, didaftarkan pada tanggal 6 Oktober 1969, dalam Buku Pengukuran 27, Halaman 9, Sacramento County Records, dari sana ke sebuah titik dengan koordinat X =



NO	Sdt. Pusat	TG	Busur	Jari-jari	Tali Busur	Sdt. Arah Tali Busur
1	12° 37'	67,00'	133,46'	606,07'	133,19'	T 65°00'30"E
2	5° 49' 40"	7.67'	15,33'	150,72'	15,32'	B 28°23'10"W
3	90° 00'	25,00'	39,27'	25,00'	35,36'	T 13°42'E
4	12° 37'	105,57'	210,28'	954,93'	209,85'	B 65°00'30"W
5	5° 50'15"	33,59'	67,11'	658,72'	67,08'	T 68°23'30"E
6	97°40'27"	28,60'	42,62'	25,00'	37,64'	T 65°41'05"E
7	75°32'50"	19,37'	32,96'	25,00'	30,63'	T 20°55'35"E
8	22°20'50"	19,75'	39,00'	100,00'	38,76'	T 5° 40'25"E
9	67°39'10"	16,75'	29,52'	25,00'	27,83'	B 50°40'25"W
10	29°12'20"	36,38'	71,16'	139,62'	70,41'	B 80°53'50"W

Gambar 22-2. Sebuah lembar pengkaplingan kecil.

2.107.196,04 dan Y = 164.285,08; dari sana ke sebuah titik dengan koordinat X = 2.107.205,56, Y = 164.410,72; dari sana ke sebuah titik dengan kordinat X = 2.106.983,20, Y = 164.427,57; dari sana ke titik awal.

Koordinat, sudut arah, dan jarak dalam penjelasan di atas didasarkan pada Sistem Koordinat California, Zone II.

Gempa bumi di Alaska, California dan Hawaii dan merosotnya tanah akibat penyedotan minyak dan air tanah di banyak negara bagian, telah menyebabkan pergeseran tanah yang memindahkan tugu titik sudut dan karenanya mengubah koordinatnya. Tugu itulah dan bukan koordinat yang memberikan lebih banyak bobot dalam hak pemilikan.

22-6. PENGKAPLINGAN. Sebuah perumahan perusahaan adalah sebidang tanah mentah, diukur dan dipecah menjadi kapling-kapling untuk maksud dijual. Di beberapa tempat, hal ini dapat menyerupai sebuah pengembangan, yang berarti ada pematangan tanah dibuat sebelum penjualan. Sembarang dari keempat cara menggambarkan yang disebut dalam Paragraf 22-1 dapat diterapkan ke bidang-bidang tanah di beberapa negara bagian.

Sebuah pengkaplingan kecil blok-dan-kapling ditunjukkan dalam Gambar 22-2. (Beberapa luas kapling telah dihilangkan sehingga hitungannya dapat menjadi masalah yang tuntas). Komputer elektronik yang besar dengan program yang tersedia dan sesuai akan sangat menghemat tenaga dalam menghitung ukuran dan luas kapling di tepi jalan-jalan berkelok. Penggambar (plotter) otomatik dengan hasil tercetak menghasilkan pengkaplingan teliti, sederhana dan cepat.

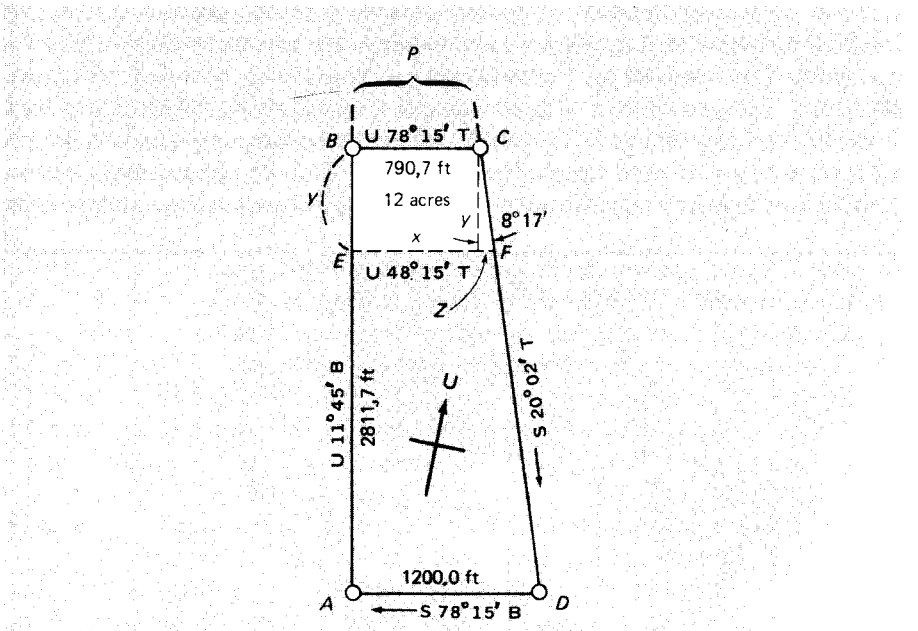
Rancangan pengkaplingan yang kritis dan pertimbangan tata letak termasuk ciptaan letak gedung yang baik, letak jalan yang efisien dan pembuangan air yang terjamin.

22-7. MEMPETAK-PETAKKAN TANAH. Sebuah masalah umum dalam pengukuran tanah milik adalah mempetak-petakkan (memecah) tanah menjadi dua bidang atau lebih untuk dijual atau pembagian kepada sanak-keluarga, ahli waris dan seterusnya. Pengukuran batas dilaksanakan; ΔY dan ΔX dihitung; poligon diratakan; dan seluruh luas yang dilingkungi dihitung. Beberapa bentuk bidang dan persyaratannya memungkinkan penyelesaian dengan rumus, seringkali dengan memakai ilmu ukur analitis. Lainnya memerlukan cara coba-coba.

CONTOH 22-1

Gambar 22-3 menggambarkan pemisahan 12 acre dengan cara membuat garis EF sejajar basis *AD*. Jarak-jarak dalam akta lama tanah pertanian ini diberikan dan diratakan hanya sampai 0,1 ft terdekat dan dengan demikian tanpa melebihi angka yang terpakai dalam data, diperlukan suatu luas "kurang lebih" 12 acre = 522.720 ft^2.

Gambar 22-3. Mempetak-petakkan tanah.



PENYELESAIAN

$$\text{Luas yang diperlukan} = 522{,}720 = xy + \frac{y^2 \text{ tg } 8°17'}{2} = 790{,}7y + \frac{y^2(0{,}1455872)}{2}$$

kemudian $$0{,}0727936y^2 + 790{,}7y - 522{,}720 = 0$$

dan $$y = 625{,}1 \text{ ft}$$

$$z = y \text{ tg } 8°17' = 91{,}0 \text{ ft}$$

$$\text{basis } EF = 790{,}7 + 91{,}0 = 881{,}7 \text{ ft}$$

$$CF = \frac{625{,}1}{\cos 8°17'} = 631{,}7 \text{ ft}$$

$$\text{luas } EBCF = 625{,}1\left(\frac{790{,}7 + 881{,}7}{2}\right) = 522.700 \text{ ft}^2 \quad \text{(cocok)}$$

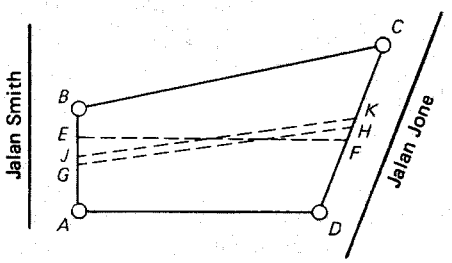
(Dengan panjang sisi-sisi hanya diukur sampai persepuluhan ft, luas terhitung sampai lebih dari empat angka terpakai, tidak ada artinya).

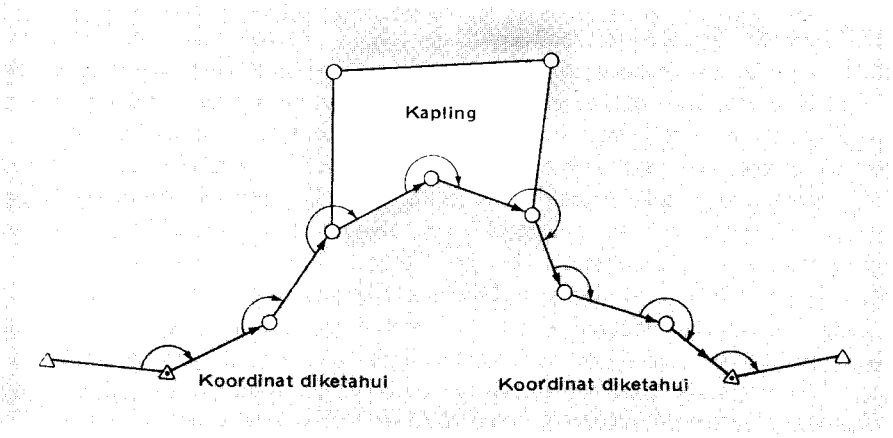
Pendekatan lain adalah dengan memperpanjang *AB* dan *DC* berpotongan di titik *P*, kemudian pakailah segitiga lain *EPF* di mana terlihat perbandingan seharga yang sederhana.

Garis potong untuk memisahkan suatu luas dari bidang dapat mempunyai (1) titik awal tertentu (jarak dari sebuah titik sudut bidang poligon dan ditarik ke titik tengah, atau kedudukan sembarang lainnya pada sisi di depannya); atau (2) sebuah arah yang diperlukan (sejajar dengan, tegaklurus terhadap, atau pada sudut arah tertentu dari sebuah garis yang dipilih). Kasus-kasus ini sering dapat ditangani dengan penyelesaian coba-coba melibatkan sebuah anggapan awal seperti arah garis pemisah atau titik awal. Soal-soal tertentu dapat diselesaikan secara mudah memakai rumus-rumus koordinat untuk perpotongan dua garis (lihat Apendiks B).

Gambar 22-4 menunjukkan bahwa pernyataan "Setengah sebelah selatan" bidang *ABCD* dapat mempunyai beberapa arti – setengah *paling* selatan, setengah bagian depan, atau setengah luas sebenarnya. Pertimbangan penting adalah bentuk terakhir masing-masing bidang. Menghubungkan titik-titik tengah *G* dan *H* menyebabkan "tengahan" sebelah selatan lebih kecil daripada "tengahan" sebelah utara, tetapi menghasilkan lebar yang sama pada kedua bagian yang menghadap ke dua jalan. Arah *EF*, sejajar dengan *AD*, menghasilkan sebuah bidang trapesoidal tetapi bidang di sebelah utara berbentuk buruk dengan

Gambar 22-4. "Setengah sebelah selatan".





Gambar 22-5. Pemindahan koordinat ke sebidang tanah dengan poligon.

bagian depan yang kecil sekali menghadap Jalan Smith. Maksud akta oleh karenanya harus dinyatakan dengan jelas.

Sebelum pekerjaan lapangan, seorang juru-ukur harus menggunakan waktu lama meneliti arsip pengadilan untuk melihat catatan penjelasan, tanah-tanah berbatasan, hak memakai, dan fakta-fakta lain yang berkaitan.

22-8. PEKERJAAN LAPANGAN. Tugas pertama adalah menemukan semua titik sudut pemilikan. Di sini sebuah alat yang paling berharga bagi seorang juru-ukur – sebuah sekop – seringkali dipakai bersama dengan sebuah magnetic locater (penentu lokasi magnetik) (terutama bila telah dipasang tutup titik sudut bermagnit). Sebuah penduga logam (metal detector) jenis katup, bukan jenis detector semua-logam model ikal, sekarang tersedia. Ini adalah alat penting menghemat biaya bagi juru-ukur tanah.

Dalam banyak kasus, satu garis atau lebih harus ditarik dari titik kontrol berjarak cukup jauh untuk mengecek atau menetapkan lokasi sebuah titik sudut. Jika tersedia tugu titik kontrol dengan arah dan koordinat yang diketahui dalam sistem negara bagian atau lokal (Gambar 22-5), dengan menempati satu di antaranya, mengorientasikan teodolit kompas atau teodolit, dan menarik sebuah poligon ke sebuah titik sudut hak milik akan menghasilkan arah-arah dan koordinat untuk sebuah pengukuran batas. Sebuah pengecekan diperoleh dengan jalan menutup kembali poligon ke stasiun awal atau tugu kedua yang terdekat.

Biasanya dibuat poligon tertutup sekeliling hak milik, sedapat mungkin semua titik sudut diduduki instrumen. Pagar, pohon, semak, pagar hidup, dinding bersama dan hambatan lain boleh jadi memerlukan sebuah poligon di dalam atau di luar hak milik. Dari pengukuran samping ke titik sudut, dihitung koordinat, panjang sisi dan sudut arahnya (lihat Paragraf 13-9 dan 13-10). Semua pengukuran dilaksanakan dengan kesaksamaan yang sesuai dengan persyaratan ketelitian dan nilai tanah. Jika koordinat pada sistem kisi dipakai dalam penjelasan, derajat ketelitian sistem itu sendiri harus dapat dipertahankan bila mungkin.

Pengukuran dengan EDMI atau pita ukur yang dibakukan dengan memberi koreksi terhadap suhu dan tegangan boleh jadi tidak sesuai dengan jarak-jarak dalam arsip atau jarak-jarak antara tanda-tanda. Keadaan ini merupakan sebuah ujian benar-benar bagi juru-ukur. Barangkali pitanya beda panjang dengan yang dipakai pada pengukuran asli; mungkin tanda-tandanya telah terganggu atau merupakan tanda yang keliru; tugu-tugunya mungkin

tidak sesuai lagi terhadap yang lain di sekelilingnya yang dikira atau diketahui sudah benar; dan barangkali beberapa pengukuran sebelumnya tidak cocok satu sama lain.

Sudut arah dan sudut antara sisi berdampingan mungkin tidak cocok dengan semestinya. Ketidakcocokan ini dapat disebabkan karena kesalahan pengukuran kompas aslinya, tanda titik sudut yang tidak benar atau penyebab-penyebab lain.

Tanggungjawab juru-ukur adalah menetapkan kembali lokasi atau menetapkan tanda-tanda di tempat yang tepat di mana semula dipasang. Jika bagian sebuah areal terukur dapat menjadi obyek tuntutan, misalnya pemilikan oleh orang lain, hal ini harus dicatat secara khusus pada peta juru-ukur.

Jika ada perbedaan antara jarak-jarak dalam arsip dan harga terukur untuk tugu-tugu yang ditemukan, datanya harus dipakai untuk memperoleh sebuah panjang "pita ukur ditera" yang berkaitan dengan jarak-jarak terukur aslinya. Dalam menetapkan kembali lokasi tugu-tugu, peneraan dilakukan untuk mengesampingkan jarak-jarak sebenarnya yang dicatat oleh juru-ukur aslinya. Caranya dapat beraneka-ragam tergantung pada bukti pemindahan hak berikutnya (yang lebih lama mempunyai hak batas yang lebih dominan) atau bukti pemindahan hak yang bersamaan waktunya (hak yang sama atas batas).

22-9. PENDAFTARAN HAK TANAH. Untuk mengatasi kesulitan yang timbul dari penjelasan yang tidak tepat dan persengketaan batas, beberapa negara bagian menyelenggarakan pendaftaran hak pemilikan dengan peraturan-peraturan yang ketat. Persyaratan-persyaratan biasanya termasuk pemasangan tanda pada setiap titik sudut dengan tugu yang dibakukan bentuknya dengan acuan pada titik-titik tetap, dan pengarsipan petanya yang digambar dengan sebuah skala dan memuat keterangan-keterangan tertentu. Hak-hak kemudian dijamin oleh pengadilan dengan syarat-syarat tertentu.

Sejumlah negara bagian telah mencontoh Massachusett dan mengadakan *pengadilan tanah* secara terpisah yang khusus menangani hak-hak tanah. Dengan berkembangnya praktek demikian, ketelitian pengukuran hak milik akan ditingkatkan dan peralihan hak milik disederhanakan.

Pelayanan semacam itu juga diberikan oleh *perusahaan asuransi hak,* yang meneliti, mengumpulkan dan menafsirkan arsip-arsip resmi, perundang-undangan dan putusan-putusan pengadilan yang menyangkut pemilikan tanah. Perusahaan hak selanjutnya akan menanggung para pembeli terhadap kehilangan hak dengan jalan menjamin bahwa hasil temuannya mengenai cacat, agunan, gangguan, pembatasan, taksiran, dan hak memakai, adalah benar. Pembelaan terhadap tuntutan hukum disediakan oleh perusahaan dalam menghadapi ancaman pada hak yang jelas, dari tuntutan yang tercatat dalam arsip umum dan tidak diliput dalam polis asuransi. Kerjasama yang erat antara juru-ukur dengan perusahaan asuransi hak adalah perlu untuk mencegah masalah di belakang hari bagi klien mereka.

Banyak masalah teknis dan hukum dipertimbangkan sebelum disetujui pemberian asuransi hak. Di beberapa negara bagian, perusahaan hak menolak memberikan polis yang menanggung sebidang kapling bila pagar-pagar yang ada tidak terletak di garis batas pemilikan dan mengecualikan dari kontrak "semua hal yang akan terungkap dengan pengukuran yang benar." Penguasaan dan penggunaan tanah milik tetangga tetapi di luar garis batas yang nampak seperti dinyatakan oleh pagar dapat berakibat tuntutan adanya *pemilikan secara melawan.*

Hak sementara diperoleh kecuali terhadap kepentingan umum, dengan jalan menduduki sebidang tanah untuk jangka waktu beberapa tahun yang ditentukan oleh undang-undang dan melakukan tindakan-tindakan tertentu. Pemilikan harus bersifat (a) nyata, (b) khusus, (c) terbuka dan nama buruk, (d) melawan, dan (e) terus-menerus. Dapat pula terjadi suatu hak pemilikan perlu dipegang berdasarkan *warna hak* (*color of title*) yaitu pengakuan atas sebidang tanah berdasarkan suatu cara tertulis, walaupun merupakan alat

pembuktian yang cacat. Di beberapa negara bagian semua pajak harus dibayar. Waktu yang diperlukan untuk menetapkan pemilikan sementara, beraneka-ragam dari minimum 7 tahun di Florida sampai maksimum 60 tahun untuk hak milik perkotaan di New York. Jangka waktu yang lazim adalah 20 tahun. Di Wisconsin hak itu 10 tahun dengan warna hak, dan bila tanpa itu 20 tahun.

Pemakaian jalan, jalan masuk, atau jalan setapak secara terus-menerus oleh perseorangan atau umum selama beberapa tahun yang ditentukan, berakibat penetapan hak memakai yang tidak dapat dihambat oleh pemilik asli.

Suatu *hak memakai* (easement) adalah hak atas dasar pemberian atau perjanjian, yang memperbolehkan orang atau orang-orang memakai tanah orang lain untuk tujuan tertentu. Ini selalu berarti kepentingan pada tanah itu di mana hak diterapkan. Buku *Kamus Hukum* karangan Black menyebut dan memberikan arti 18 jenis hak memakai; oleh karenanya tujuan yang tepat dari sebuah hak memakai harus dinyatakan dengan jelas.

Pembahasan mengenai pengukuran hak milik perlu dibuat ringkas dalam uraian ini tetapi memberikan keterangan yang berguna kepada para pembaca sambil menahan orang-orang yang tidak berpengalaman agar tidak mencoba menarik garis-garis batas. Untuk liputan yang lebih luas, acuan-acuan ada dalam Daftar Pustaka.

22-10. SUMBER-SUMBER GALAT. Beberapa sumber galat dalam pengukuran batas adalah sebagai berikut:

1. Titik sudut tidak dinyatakan dengan titik yang unik.
2. Kesaksamaan sudut dan jarak-jarak yang tidak sama.
3. Pengukuran jarak tidak dilaksanakan dengan pita ukur yang dibakukan atau dikoreksi untuk suhu, tegangan, dan lereng.

22-11. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan khas dalam kaitannya dengan pengukuran batas adalah:

1. Pemakaian tanda titik sudut yang keliru.
2. Kelalaian meneliti akta pemilikan yang berdampingan maupun keterangan mengenai bidang tanah yang bersangkutan.
3. Penjelasan akta yang tidak terang artinya.
4. Hilangnya panjang atau arah garis penutup.
5. Kelalaian ikatan terhadap titik kontrol yang diketahui.
6. Arah magnetik tidak dikoreksi dengan benar terhadap tanggal pengukuran baru.

SOAL-SOAL

22-1. Dari publikasi-publikasi yang disebutkan dalam Daftar Pustaka, carilah arti "prescription", "color of title," "eminent domain" dan "escrow".

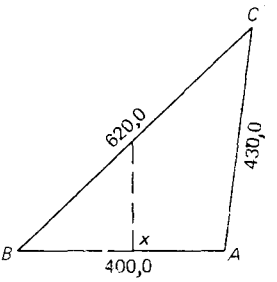
22-2. Jelaskan arti "covenant," "appurtenance," "balk," dan "proration."

22-3. Kira-kira tahun berapa "pita" ukur baja dipakai pertama kali sebagai pengganti untuk rantai Gunter?

22-4. Apa yang harus dikerjakan oleh juru-ukur dalam menafsirkan penjelasan yang samar-samar?

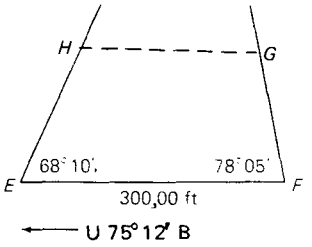
22-5. Tentukan dari gedung pengadilan county atau penyimpanan arsip lokal lainnya jenis-jenis penjelasan hak milik di daerah Anda.

22-6. Tuliskan sebuah penjelasan pengukuran-dan-batas untuk rumah dan tanah di mana Anda tinggal. Buatlah anggapan data yang diperlukan. Buatlah sketsa peta hak milik tersebut.
22-7. Buatlah garis besar ukuran jalur dan bentuk hak memakai yang dipakai oleh perusahaan telepon dan utilitas lokal di tempat Anda. Serahkan sebuah contoh.
22-8. Siapkan salinan sebuah uraian khas dari penjelasan akta hak milik lokal.
22-9. Seorang juru-ukur dipekerjakan untuk memetakan sebuah tanah pertanian yang terletak di wilayah tak dikenal. Langkah pertama apakah yang harus diambil?
22-10. Di wilayah pemukiman kota Anda, persyaratan apakah yang diperlukan dari garis hak milik di muka, belakang dan samping?
22-11. Dalam sebuah penjelasan ukuran-dan-batas, tujuan apakah yang dimaksud dalam ungkapan "lebih atau kurang" setelah angka luas?
22-12. Gambarlah penjelasan ukuran-dan-batas kapling kota yang diuraikan dalam Paragraf 22-3. Hitunglah kesalahan penutup kapling. Apakah ketelitiannya cukup baik bagi rata-rata kota berpenduduk 2000 orang?
22-13. Cara penjelasan hak milik manakah yang Anda pandang paling baik? Mengapa?
22-14. Tentukan bagaimana pemberian nomor blok, bidang, pemecahan dan kapling di wilayah Anda, dan oleh siapa?
22-15. Di kota Anda, dapatkah kapling-kapling dalam sebuah pemecahan diberi petunjuk dengan huruf A, B, C, D dan seterusnya, dan bukan angka-angka?
22-16. Tuliskan urutan pentingnya hal-hal berikut dalam penjelasan akta panjang tertulis dan terukur; arah tertulis dan terukur; tugu di tempat atau hilang; titik sudut saksi dan ikatan; luas; dan kesaksian para saksi. Jelaskan alasan jawaban Anda.
22-17. Buatlah sketsa hak milik yang diterangkan sebagai bagian dari kapling-kapling 9 dan 10 dalam Paragraf 22-4.
22-18. Buatlah peta bagian kapling 306 yang dibicarakan dalam Paragraf 22-4.
22-19. Tuliskan semua jenis keterangan yang bersangkutan atau data yang harus tertera dalam peta pengukuran hak milik yang telah selesai.
22-20. Ambillah sebuah contoh atau salinan butir-butir penting yang termuat dalam polis perusahaan asuransi hak untuk kapling kota.
22-21. Tiang-tiang telepon dipasang pada dua titik sudut sebuah kapling segiempat. Jelaskan bagaimana mengukur kapling itu, menetapkan lokasi batas-batasnya dan menemukan luasnya.
22-22. Dua tetangga yang bersengketa mempekerjakan seorang juru-ukur untuk meneliti garis batas mereka. Uraikan wewenang juru-ukur bila (a) garis yang ditetapkan disetujui oleh kedua klien, dan (b) garisnya tidak dapat diterima oleh salah satu atau keduanya.
22-23. Berapa tenggang waktu yang diperlukan untuk menyatakan hak sementara di wilayah Anda?
22-24. Jelaskan alasan untuk persyaratan "melawan" dalam memperoleh hak sementara atas hak milik sebenarnya?
22-25. Sebuah kesalahan terjadi dalam pengkaplingan dan tercatat sebagaimana adanya. Bagaimana cacat ini dapat diperbaiki dan oleh siapa?
22-26. Lima butir disyaratkan dalam sebuah penjelasan akta. Manakah yang Anda anggap paling penting? Paling tidak penting? Mengapa?
22-27. Apakah kebaikan utama penjelasan hak milik dengan harga koordinat untuk titik-titik sudutnya?
22-28. Carilah dua kesalahan yang jelas dalam peta pada Gambar 22-2.
22-29. Hitung luas kapling 16 dalam Gambar 22-2.
22-30. Hitung luas kapling 17 dalam Gambar 22-2.
22.31. Hitung luas kapling 18 dalam Gambar 22-2.
22-32. Telitilah luas kapling 19 dalam Gambar 22-2.
22-33. Hitung luas kapling 24 dalam Gambar 22-2.
22-34. Memakai sebuah garis tegaklurus AB melalui x, pisahkan sepertiga luas pada pihak titik sudut B.

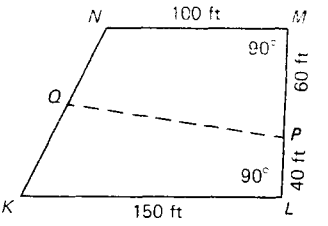


Soal 22-34

22-35. Sisi *EF* dari kapling *EFGH* terletak sepanjang sebuah jalan. Hitung panjang garis *GH* sejajar *EF* yang akan memotong 18.000 ft^2, panjang *EH* dan *FG*.



Soal 22-35



Soal 22-36

22-36. Tentukan panjang dan arah garis *PQ* yang akan memisahkan 6000 ft^2 menjadi kapling baru *KLPQK*, dan panjang *KQ*.

22-37. Apakah seorang juru-ukur yang melaksanakan pengukuran tak teliti bagi seorang pemborong bangunan dapat dianggap bekerja tidak baik terhadap pihak ketiga (pembeli kapling)?

22-38. Apakah akta bidang tanah yang diarsipkan merupakan bukti pemilikan oleh penerima hak yang tersebut di dalamnya? Jelaskan.

22-39. Dapatkah regu pengukuran hak memakai jalan kereta api dianggap masuk tanpa izin dan merusak tanaman oleh pemilik yang berbatasan?

22-40. Sebuah pembangunan3 simpangan meninggalkan bidang tanah yang berbentuk ganjil dengan penjelasan sebagai berikut: *AB* U28°04'20"B, 135,86 ft sepanjang Jalan Oak; *BC* U76°55'31"T, 211,80 ft; *CD* S53°57'31"B, 88,02 ft; dan *DA* S31°22'21"B, 136,11 ft. Hitung luasnya.

22-41. Berapa lama setelah melaksanakan dan mencatat pengukuran hak milik di negara bagian Anda seorang juru ukur dapat dibebani tanggungjawab kerugian akibat kesalahan dalam pekerjaannya?

22-42. Apa yang dikerjakan oleh juru-ukur bila garis yang diukur tidak cocok dengan garis yang "dipakai" atau yang "diduduki"?

22-43. Sebuah pengukuran blok kota, bermula dan berakhir pada tugu-tugu titik sudut yang terbukti, mendapatkan panjang sebenarnya adalah 301,00 ft walaupun panjang tercatat adalah 300,00 ft. Ada enam kapling dalam blok. Apa yang harus dikerjakan terhadap kelebihan 1,00 ft jika (a) batas-batas kapling tak pernah diberi pancang, dan (b) empat kapling di satu pihak telah dipancang tetapi tidak diduduki?

DAFTAR PUSTAKA

Bauer, K.W. 1979. "Penyaluran Air dan Pemecahan Tanah." *ACSM Bulletin* 67:9.

Betts, D.N. 1979. "Sertifikat Pengukuran Tanah – Apakah itu?" *Surveying and Mapping* 39(no. 3): 239.

Black, Henry C. 1979. Kamus Hukum Black, edisi ke 5. West Co.

Brown, C.M. 1969. *Pengawasan Batas dan Prinsip-prinsip Hukum,* edisi ke 2. New York: Wiley.

Brown, C.M., W.G. Robillard, dan D.A. Wilson, 1981. *Bukti dan Prosedur untuk Lokasi Batas,* edisi ke 2. New York: Wiley.

Buckner, R.B. 1975. "Alasan-alasan dan Metode untuk Arah Tepat dalam Pengukuran Tanah," *Surveying and Mapping* 35(no. 4): 305.

Fant, J.E., A.R. Freeman, dan C. Madson. 1981. "Penjelasan Ukuran dan Batas." *Surveying and Mapping* 41(no. 2): 222.

Greulich, G. 1982. "Pembakuan Metrik dalam Pengkaplingan dan Zoning." *Surveying and Mapping* 42 (no. 3): 257.

Horak, T.E. 1981. "Dialog Profesional." *Surveying and Mapping* 4(no. 4): 438.

Kratz, K.E. 1981. "Hak Yuridis Semu Juru-Ukur Tanah dan Tugas-tugas Tentang Lokasi Batas." *Surveying and Mapping* 40(no. 2): 213.

Lampert, L.L. 1980. "Pencarian Kembali." *Surveying and Mapping* 40(no. 3): 315.

Lowman, R.E. 1974. "Penulisan Penjelasan Akta." *Surveying and Mapping* 34(no. 1): 41.

Madson, C.M. 1980. "Di atas, di Bawah dan di Seberang." *Surveying and Mapping* 40(no. 1): 47.

Madson, T.S. 1978. "Lokasi Praktis dan Juru-Ukur Tanah." *Proceeding of the Fall Meeting of the American Congress of Surveying and Mapping,* hal. 247.

McCall, C.E. 1980. "Pengkaplingan Tanah Dewasa Ini." *Surveying and Mapping* 40(no. 4): 415.

McEntyre, J.G. 1978. *Sistem-sistem Pengukuran Tanah.* New York: Wiley.

Robillard, W.G. 1974. "Juru-Ukur Tanah dan Undang-undang tentang Modernisasi." *American Congress of Surveying and Mapping Bulletin* 46:11.

U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management. 1973. *Buku Petunjuk Pengukuran Tanah 1973.* Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

Wattles, G.H. 1976. *Penulisan Penjelasan Hukum.* New York: Parker.

Zeman, R.L. 1971. "Perbaikan pada Hak-hak Tanah." *ASCE Journal of Surveying and Mapping Division* 97(no. SU1): 113.

23 PENGUKURAN – PENGUKURAN TANAH NEGARA

23-1. PENGANTAR. Istilah *tanah-tanah negara* diterapkan secara luas pada wilayah-wilayah yang telah menjadi subyek administrasi, pengukuran dan peralihan haknya menurut hukum tanah negara Amerika Serikat sejak 1785. Tanah-tanah ini termasuk yang diserahkan kepada pemerintah federal oleh negara-negara bagian kolonial dan wilayah-wilayah lebih luas yang diperoleh dengan pembelian dari (atau perjanjian dengan) orang-orang Indian penduduk asli atau negara-negara asing yang sebelumnya pernah memegang kekuasaan.

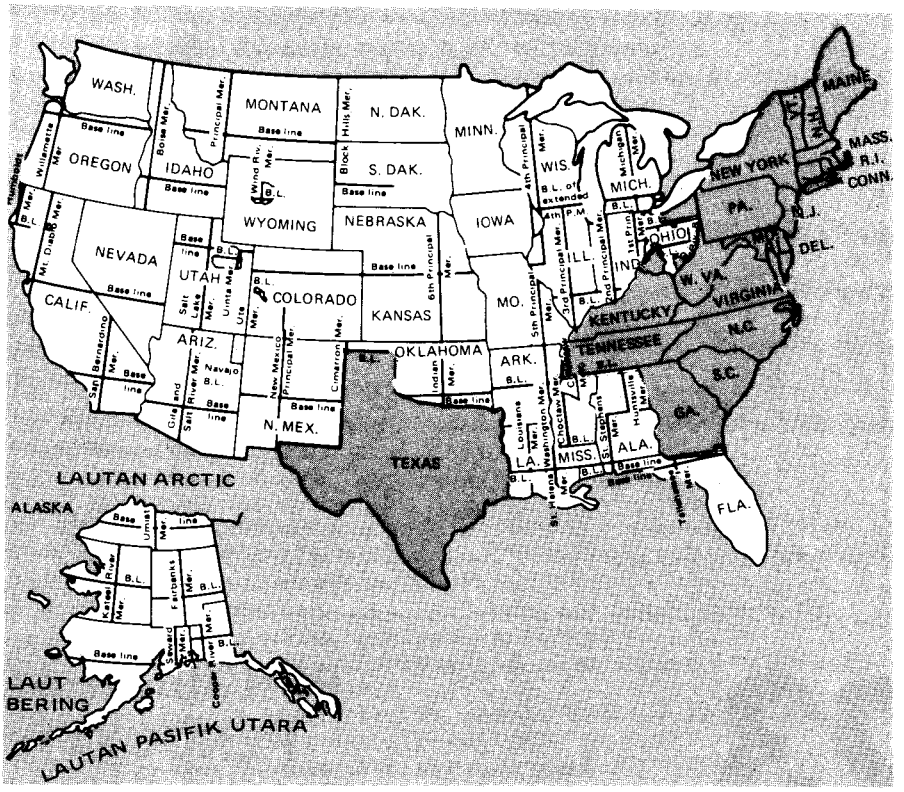
Tigapuluh negara bagian, termasuk Alaska, merupakan *wilayah negara* (public domain) yang telah atau akan dikapling menjadi bidang-bidang empat persegi panjang (lihat Gambar 23-1). Wilayah itu kira-kira meliputi 72% dari Amerika Serikat.

Hak atas tanah-tanah yang kosong, dan karenanya peraturan mengenai pengukuran tanah dalam batas-batas mereka sendiri, dipertahankan oleh negara-negara bagian kolonial, negara-negara bagian New England dan pantai Atlantik lainnya (kecuali Florida), dan belakangan oleh negara bagian West Virginia, Ketucky, Tennessee dan Texas. Di dalam wilayah-wilayah ini Undang-undang Tanah Negara Amerika Serikat belum diterapkan.

Wilayah-wilayah perairan yang dapat dilayani bukan merupakan tanah negara dan bukan merupakan wilayah pengukuran dan persediaan bagi Amerika Serikat. Kekuasaan atas wilayah-wilayah ini ada pada negara-negara bagian masing-masing.

Pengukuran dan pengaturan tanah-tanah negara, semula ditentukan oleh dua faktor:

1. Sebuah pengakuan akan nilai pengkaplingan sistem-kisi yang didasarkan pada pengalaman di tanah-tanah jajahan dan pengukuran batas skala-besar sistematik lainnya – Pengukuran Down tahun 1656 di Irlandia.



Gambar 23-1. Wilayah-wilayah yang diliput oleh pengukuran tanah-tanah negara. Wilayah yang tidak termasuk, diberi warna lebih gelap. (Texas mempunyai sistem segiempat serupa).

2. Kebutuhan jajahan akan dana dari penjualan tanah-tanah negara. Pemasukan dana dari wilayah kekuasaan mereka mengecewakan, tetapi pandangan jauh ke depan para perencana mengenai pengkaplingan dengan sistem kisi pantas dipuji.

23-2. PETUNJUK-PETUNJUK PENGUKURAN TANAH NEGARA. Sistem pengukuran tanah-tanah negara di Amerika Serikat diresmikan dalam tahun 1784, dengan wilayah baratlaut Sungai Ohio sebagai wilayah percobaan. Serangkaian petunjuk pengukuran dikeluarkan pada tahun 1785 dan 1796. Buku-buku petunjuk dikeluarkan pada tahun 1855, 1881, 1890, 1894, 1902, 1930, 1947 dan 1973.

Dalam tahun 1796 diangkat seorang kepala pengukuran (surveyor general), dan pemberian nomor sections diubah menjadi sistem yang sekarang dipakai (lihat Gambar 23-7). Peraturan-peraturan pelengkap diatur oleh masing-masing kepala pengukuran lokal "menurut ketentuan pertimbangannya sendiri" hingga tahun 1836, ketika diadakan reorganisasi Kantor Pertanahan Umum (General Land Office). Salinan-salinan perubahan dan petunjuk pemakaian lokal tidak selalu tersimpan dan dikirim ke Washington. Akibatnya, tak ada kantor di Amerika Serikat mempunyai satu rangkaian petunjuk yang mestinya ditaati pengukuran-pengukuran asli. Walaupun diikuti metode umum yang sama, prosedur-perosedur detail diubah dalam pengukuran yang dilaksanakan di waktu berbeda di berbagai wilayah negara. Sebagai contoh, petunjuk-petunjuk untuk New Mexico hanya mengatakan garis-garis township diletakkan di mana tanah dianggap tidak cocok untuk diusahakan.

Kebanyakan pengukuran tanah negara yang belakangan, telah dilaksanakan dengan prosedur yang akan dijelaskan, atau dengan variasi daripadanya. Tugas juru-ukur masa kini terutama terdiri atas penetapan kembali garis-garis asli dan barangkali pengkaplingan lebih lanjut. Untuk melaksanakannya, mereka harus sepenuhnya menguasai peraturan, undang-undang, peralatan dan keadaan lapangan yang menentukan pendahulunya di suatu wilayah.

Pada dasarnya, peraturan-peraturan pengukuran yang ditulis pada tahun 1973 dalam *Petunjuk Peraturan Pengukuran* adalah sebagai berikut:[1]

> Tanah-tanah negara akan dibagi oleh garis-garis utara ke selatan sepanjang meridian sebenarnya, dan oleh garis-garis lain yang memotongnya tegaklurus, sehingga terbentuk township yang berukuran enam mil tiap sisi. . . .
>
> Titik-titik sudut township harus ditandai dengan angka nomor berturut-turut dari awal: tiap jarak satu mil antara titik sudut juga harus diberi tanda yang jelas tetapi berbeda dengan tanda untuk titik-titik sudut.
>
> Township dibagi-bagi lagi menjadi section, berisi sedapat mungkin, masing-masing enam ratus empat puluh acre, dengan menetapkan garis-garis sejajar melalui section yang sama dari timur ke barat dan dari selatan ke utara berjarak satu mil satu sama lain (semula pada ujung tiap dua mil tetapi diubah pada tahun 1800), dan menandai titik-titik sudut pada jarak tiap setengah mil. Section diberi nomor, berturut-turut, mulai dari nomor satu di timur laut, dan berlanjut ke barat dan timur berganti-ganti melalui township dengan nomor-nomor berlanjut sampai dipenuhi tiga puluh enam.

Ketentuan pengukuran tambahan mengenai buku lapangan, pembagian section, perataan untuk kelebihan dan kekurangan, dan hal-hal lain, diberikan dalam buku petunjuk. Juru-ukur pribadi, atas dasar kontrak, dibayar $2/mil garis diukur hingga tahun 1796 dan selanjutnya $3/mil. Kadang-kadang jumlahnya disesuaikan dengan kepentingan sebuah garis, tanahnya, lokasinya atau faktor-faktor lain. Dari upah yang kecil ini juru-ukur harus membayar dan memberi makan sebuah regu yang paling sedikit terdiri dari empat orang selama pekerjaan dan dalam perpindahan ke dan dari titik-titik yang jauh jaraknya. Mereka harus merintis dan menandai pohon untuk pemasangan garis, memasang titik sudut dan tanda-tanda lain, serta menyediakan catatan-catatan yang cukup, dilampiri satu atau lebih salinan gambar bidang yang diselesaikan. Sistem kontrak ini sama sekali ditinggalkan pada tahun 1910. Sekarang diangkat juru-juru ukur tanah negara.

Karena meridian itu mengumpul (ada konvergensi) jelaslah bahwa persyaratan "garis-matematis tak mungkin. Karenanya sistem pemecahan terinci disusun sebagai penyelesaian praktis.

Dua ketentuan pokok melengkapi latarbelakang yuridis untuk pemantapan batas tanah:

1. Batas-batas tanah negara yang ditetapkan dan ditetapkan kembali oleh juru-ukur yang diangkat sebagaimana mestinya adalah tidak dapat diubah.
2. Titik-titik sudut township dan section yang asli ditetapkan oleh juru-ukur harus berlaku sebagai titik sudut yang benar seperti yang ditetapkan tujuannya, apakah di tempat seperti ditunjukkan oleh catatan lapangan atau tidak.

Dengan perkataan lain, juru-ukur yang asli mempunyai rencana resmi dengan petunjuk terperinci untuk pemasangannya, dan agaknya menetapkan titik sudut sebaik mungkin se-

---

Karena pengukuran baru (terutama di Alaska) maupun penentuan kembali masih sedang dilaksanakan, buku petunjuk tahun 1973 memakai petunjuk waktu (tense) lebih dari satu, seperti halnya bab ini.

suai kemampuannya. Setelah haknya beralih dari Amerika Serikat, titik-titik sudut yang telah ditetapkan (tugu-tugu), tanpa memperhatikan galat-galat, menjadi tugu-tugu yang sah menurut undang-undang. Oleh karena itu jika tugu telah hilang, tujuan pengukuran kembali adalah untuk menentukan di mana mereka berada, bukan di mana mereka semestinya berada. Membetulkan atau memberi koreksi kesalahan dan galat sekarang akan mengganggu terlalu banyak batas pemilikan tanah yang telah diakui dan mengakibatkan sejumlah tuntutan pengadilan yang tak terkuasai.

Secara umum, prosedur dalam pengukuran tanah negara menyediakan untuk pengkaplingan yang berikut:

1. Pemecahan menjadi bidang-bidang segiempat kira-kira bersisi 24 mil (setelah sekitar tahun 1840).
2. Pemecahan bidang (segiempat) menjadi township (16), kira-kira bersisi 6 mil.
3. Pemecahan township menjadi section (36), kira-kira persegi 1 mil.
4. Pengkaplingan sections biasanya oleh juru-ukur lokal.

Ada gunanya untuk diingat bahwa tujuan sistem kisi adalah untuk memperoleh section bersisi 1 mil. Untuk mencapai tujuan ini, pengukuran berlangsung dari selatan ke utara dan timur ke barat, dan semua ketidakcocokan dimasukkan ke dalam section-section yang berbatasan tanda batas township utara dan barat untuk memperoleh sebanyak mungkin *section yang beraturan* bentuknya.

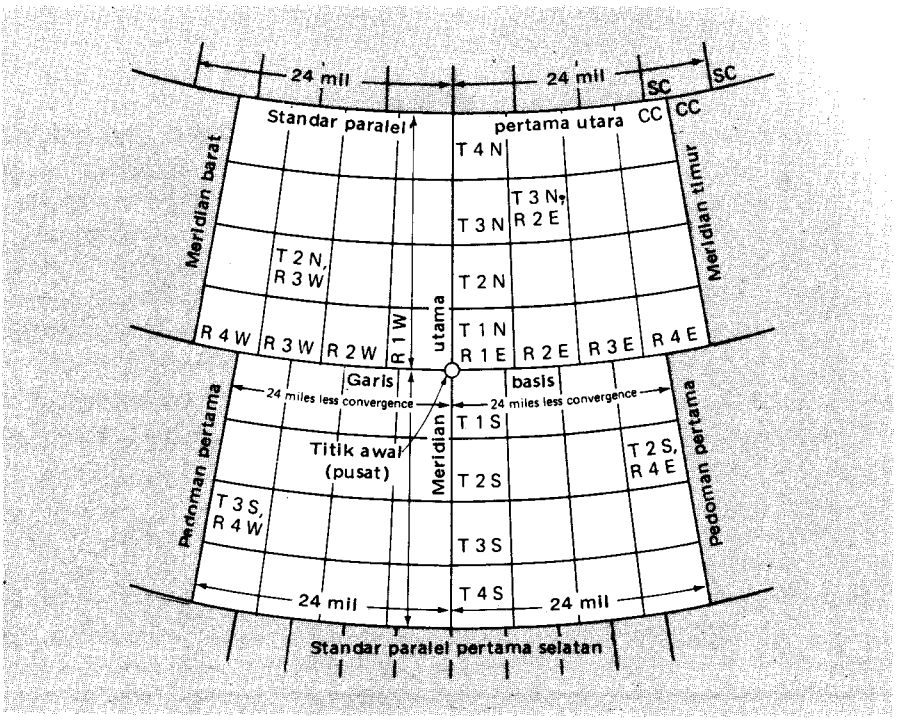
23-3. TITIK PUSAT (INITIAL POINT). Thomas Jefferson mengakui pentingnya pengukuran tanah dan menjabat sebagai ketua sebuah panitia untuk mengembangkan rencana menentukan lokasi dan menjual tanah-tanah di sebelah barat. Laporannya kepada Continental Congress pada tahun 1784, disetujui sebagai sebuah peraturan pada tanggal 20 Mei 1785, mengharuskan pelaksanaan pengukuran batas dan pemasangan tanda sebelum penjualan tanah. Banyak sengketa pemilikan tanah dewasa ini akan dapat dihindari bila semua garis batas pemilikan diukur kembali dan tugu-tugu dicek dan/atau dipasang sebelum penjualan berlaku!

Pengkaplingan tanah-tanah negara menjadi perlu di wilayah manapun karena pendatang masuk dan ada permohonan-permohonan pertambangan dan tanah lainnya. Harapan dini bahwa pengukuran tanah akan mendahului pendudukan tidak menjadi kenyataan.

Dalam tiap wilayah ditetapkanlah sebuah titik pusat dan ditentukan letaknya dengan pengamatan astronomis. Buku petunjuk tahun 1902 adalah yang pertama mengharuskan tugu tak terusakkan, lebih baik merupakan sebuah baut tembaga, dipasang dengan kokoh pada tepi batu dan diikatkan dengan sudut-sudut arah pada batu-batuan sekitarnya. Tersedia tiga puluh tujuh titik pusat, lima di antaranya di Alaska. Sebuah meridian utama dan sebuah garis basis melalui masing-masing titik pusat, misalnya seperti pada tengah-tengah Gambar 23-2.

23-4. MERIDIAN UTAMA. Dari setiap titik pusat, ditetapkan sebuah garis utara selatan sebenarnya yang disebut *meridian utama* (*principal meridian* – PM) ke utara dan/atau ke selatan ke batas-batas wilayah yang diliput Biasanya dipakai alat tambahan yang dipasang untuk menyelesaikan hitungan segitiga astronomis secara mekanis. Tugu-tugu dipasang untuk titik-titik sudut section dan perempatan section setiap 40 ch (rantai) daripada titik-titik potong dengan semua perairan yang berbelok (sungai 3 rantai atau lebih lebarnya, dan danau seluas 25 acre atau lebih).

Garis harus berada dalam batas 3 menit arah utama. Dua rangkaian pengukuran linier yang tak saling bergantung diperlukan untuk mengecek dalam batas 20 lk (mata rantai, 13,2 ft)/80 ch (rantai), yang berarti kesaksamaannya hanya $\frac{1}{400}$. Selisih yang dibolehkan antara rangkaian-rangkaian pengukuran sekarang dibatasi sampai 7 lk/80 ch.



Gambar 23-2. Pengukuran segi-segi empat. (Hanya beberapa titik sudut standar dan titik sudut penutup dapat terlihat).

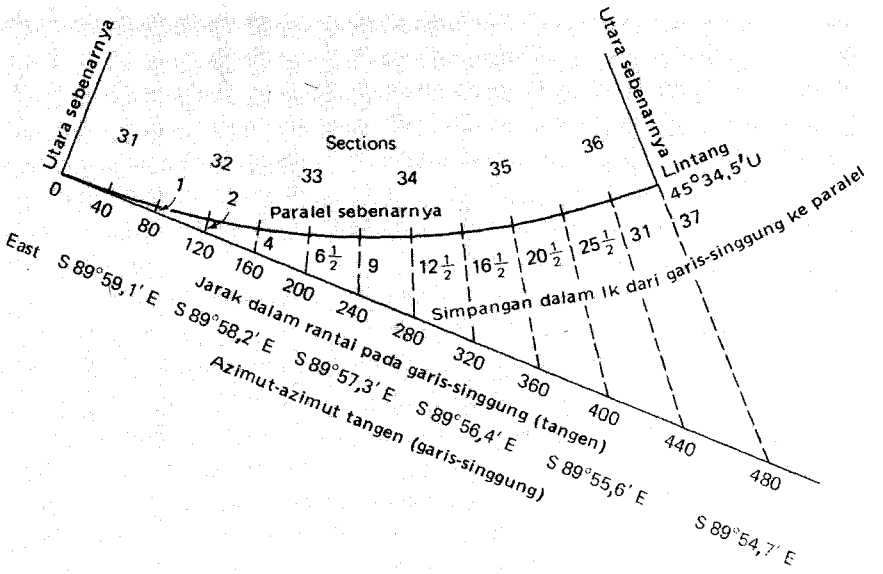
Wilayah-wilayah dalam sebuah sistem PM sangat beragam luasnya seperti terlihat pada Gambar 23-1.

23-5. GARIS BASIS (BASE LINE). Dari titik pusat, garis basis diperpanjang ke timur dan/atau barat sebagai paralel yang sebenarnya sampai ke batas-batas wilayah yang diliput. Seperti disyaratkan pada meridian utama, tugu-tugu dipasang untuk titik sudut section dan perempatan section setiap 40 ch (rantai) dan pada titik-titik potong dengan semua tubuh air yang berbelok. Kesalahan penutup yang dibolehkan adalah sama dengan pada meridian utama.

Garis-garis basis dilaksanakan seperti kurva melingkar dengan tali busur 40 ch (rantai) dengan (a) metode matahari, (b) metode tangen; atau (c) metode secant.

Metode matahari (Solar Method). Sebuah pengamatan dilakukan dengan alat matahari tambahan untuk menentukan arah utara sebenarnya. Kemudian sebuah sudut siku-siku dibentuk dan sebuah garis diperpanjang 40 ch, di mana proses itu diulang. Serangkaian garis yang ditetapkan demikian, dengan sedikit perubahan arah setiap setengah mil, sangat mendekati sebuah paralel sebenarnya. Jelas kiranya jika matahari tertutup awan, metode ini tak dapat dipakai.

Metode Tangent. Metode memasang paralel sebenarnya ini digambarkan pada Gambar 23-3. Sebuah sudut 90° diputar ke timur atau ke barat, seperti disyaratkan dari meridian sebenarnya, dan titik-titik sudut dipasang setiap 40 ch. Pada saat yang sama, diambil simpangan yang cocok dari tabel dan diukurkan ke utara dari garis singgung paralel. Dalam contoh yang ditunjukkan, simpangan-simpangan dalam lk (mata rantai) adalah 1, 2, 4, $6\frac{1}{2}$, . . . , 37. Galat akibat pengambilan simpangan tegaklurus yang bukan simpangan sepan-



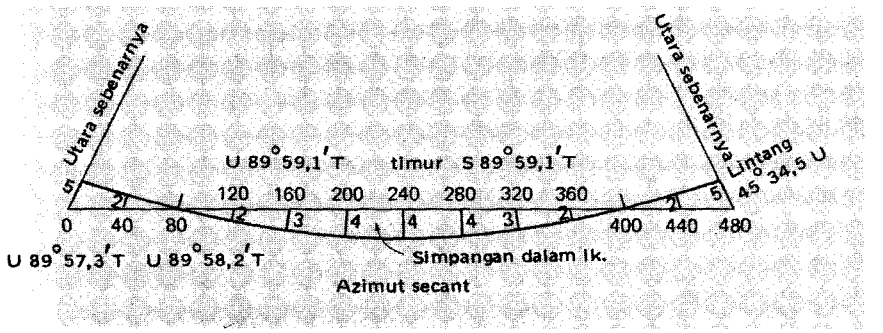
Gambar 23-3. Penentuan paralel dengan metode tangent. (Dipetik dari *Buku Petunjuk Pengukuran* tahun (1973).

jang garis yang memusat (mempunyai konvergensi), dapat diabaikan. Keberatan utama terhadap metode tangent adalah bahwa paralel memisah terlalu jauh dari tangent (garis singgung), jadi baik tangent maupun paralel harus diperbaiki.

Metode Secant. Cara menentukan paralel sebenarnya ini ditunjukkan pada Gambar 23-4. Ini sebenarnya adalah metode tangent yang diubah sedikit di mana sebuah garis sejajar pada garis singgung di titik (pusat) 3 mil dilewatkan pada titik-titik 1 mil dan 5 mil untuk menghasilkan simpangan minimum, seperti ditunjukkan dalam Tabel E-3 dan E-4.

Pekerjaan lapangannya termasuk penetapan sebuah titik pada meridian sebenarnya, di selatan titik sudut awal, pada suatu jarak yang diambil dari tabel untuk lintang sebuah paralel yang dikehendaki. Sudut arah yang sesuai dari tabel yang sama diputar ke timur atau barat dari meridian sebenarnya untuk menentukan secant, yang kemudian diproyeksikan 6 mil. Simpangan-simpangan diukur utara atau selatan dari secant ke paralel.

Gambar 23-4. Pemasangan paralel dengan metode secant. (Dipetik dari Buku Petunjuk Pengukuran 1973).



Kebaikan-kebaikan metode secant adalah kesederhanaanya, simpangan-simpangannya kecil dan dapat diukur tegaklurus pada secant tanpa galat yang berarti, dan rintisannya berkurang.

23-6. PARALEL STANDAR (GARIS-GARIS KOREKSI). Setelah meridian utama dan garis basis diletakkan, paralel standar (standard parallel – SP), disebut garis koreksi, juga ditetapkan sebagai paralel-paralel sebenarnya terpisah 24 mil dengan cara sama seperti garis basis. Semua titik sudut 40 ch diberi tanda. Dalam beberapa pengukuran lama, paralel standar ditempatkan pada interval 30 atau 36 mil.

Paralel standar diberi nomor berurutan utara dan selatan garis basis; contoh-contohnya adalah Paralel Standar Utara Pertama dan Paralel Standar Selatan Ketiga.

23-7. MERIDIAN PEDOMAN. Meridian-meridian pedoman (guide meridians – GM) ditetapkan ke arah utara dari garis basis dan paralel standar pada interval 24 mil sebelah timur dan barat meridian utama, dalam cara yang sama dengan meridian utama dan dengan batas galat yang sama. Sebelum pekerjaan dimulai, rantai atau pita harus dicek dengan pengukuran 1 mil pada garis basis atau paralel standar. Seluruh titik sudut 40 ch diberi tanda.

Karena meridian-meridian menyatu, sebuah *titik penutup* (*closing corner* – CC) ditetapkan pada perpotongan tiap meridian pedoman, paralel standar atau garis basis (lihat Gambar 23-2). Jarak dari titik penutup ke *titik sudut standar* (*standar corner* – SC), yang dipasang sewaktu pemasangan paralel, diukur dan dicatat dalam catatan sebagai pengecekan. Bila ada galat dalam meridian pedoman sepanjang 24 mil diletakkan dalam setengah mil paling utara.

Meridian pedoman diberi nomor berurutan timur dan barat meridian utama; contoh-contohnya adalah Meridian Pedoman Selatan Pertama dan Meridian Pedoman Timur Keempat.

23-8. BAGIAN LUAR TOWNSHIP, GARIS MERIDIONAL, DAN GARIS TOWNSHIP. Pembagian sebuah segiempat, atau bidang, menjadi beberapa township, dilaksanakan dengan jalan menetapkan garis-garis meridional (range, R) dan township (T atau Tp).

Garis meridional adalah meridian sebenarnya yang melewati titik-titik sudut township standar yang ditetapkan sebelumnya dengan interval 6 mil pada garis basis dan paralel standar. Garis-garis ini memanjang ke utara untuk memotong paralel standar berikutnya atau garis basis, dan ditetapkanlah titik (sudut) penutup (lihat Gambar 23-2 dan 23-5).

Rumus-rumus untuk konvergensi meridian (dijabarkan dalam berbagai buku teks tentang geodesi, dengan hasil-hasilnya dimasukkan dalam Tabel E-2) adalah sebagai berikut:

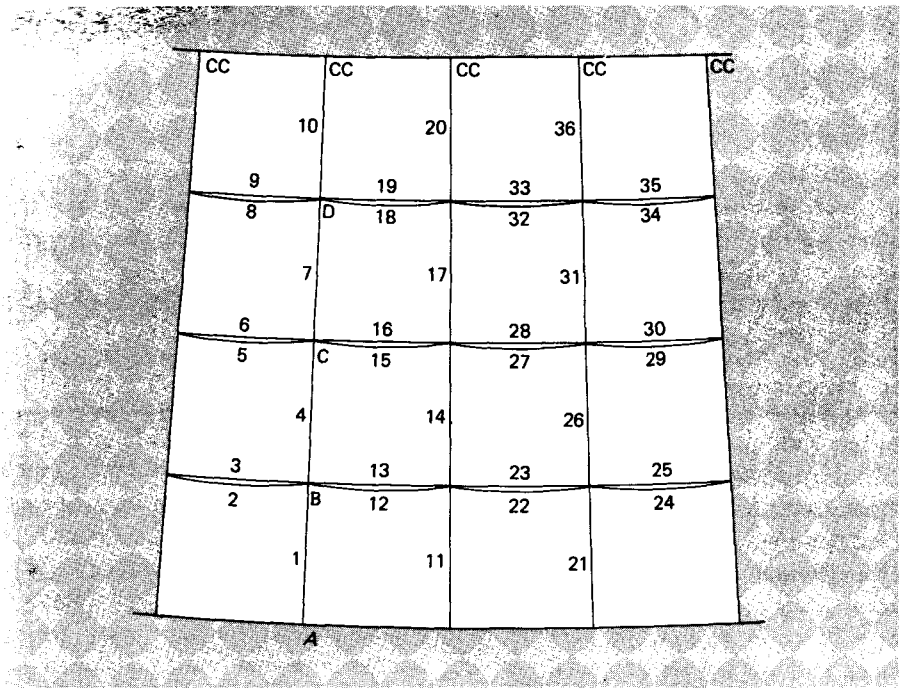
$$\theta = 52.13d \text{ tg } \phi \tag{23-1}$$

$$c = \tfrac{4}{3}Ld \text{ tg } \phi \qquad \text{(sedikit aproksimasi)} \tag{23-2}$$

di mana θ adalah sudut konvergensi dalam detik; d adalah jarak antara meridian-meridian dalam mil, pada sebuah paralel; ϕ adalah lintang menengah; c adalah konvergensi linier dalam feet; dan L adalah panjang meridian-meridian dalam mil.

Garis-garis township menghubungkan titik-titik sudut township yang ditetapkan sebelumnya dengan interval 6 mil pada meridian utama, meridian pedoman dan garis meridional.

23-9. PENETAPAN TOWNSHIP. Sebuah township dikenal dengan sebuah penjelasan unik yang berdasar pada meridian utama yang menentukannya.



Gambar 23-5. Urutan penetapan garis-garis untuk pemecahan sebuah segiempat menjadi township-township.

Deretan township utara dan selatan disebut *ranges* dan diberi nomor dengan urutan timur dan barat meridian utama seperti ditunjukkan dalam Gambar 23-2.

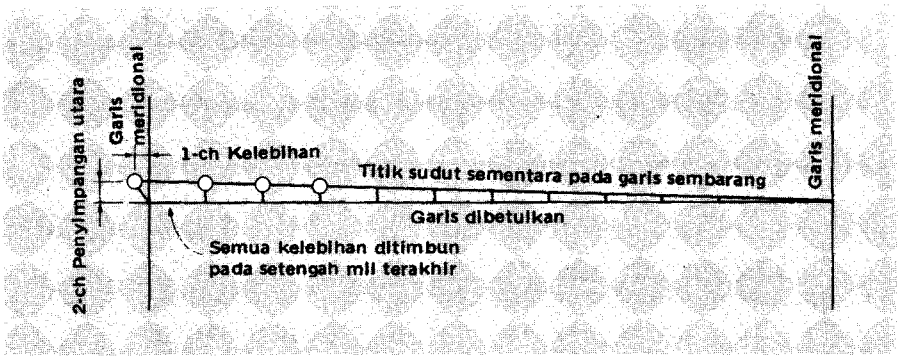
Deretan township timur dan barat disebut *tiers* dan diberi nomor dengan urutan utara dan selatan garis basis. Karena kebiasaan, istilah *tier* biasanya diganti dengan township dalam menetapkan deretan-deretan.

Sebuah township dikenal dengan nomornya utara atau selatan garis-basis, diikuti oleh nomor timur atau barat meridian utama. Contohnya adalah Township 7 Selatan, Range 19 Timur, dari Meridian Utama Keenam. Disingkat, ini menjadi T 7 S, R 19 E, PM ke-6.

23-10. PEMECAHAN SEGIEMPAT MENJADI TOWNSHIP. Metode yang dipakai dalam pemecahan segiempat menjadi township ditentukan oleh peraturan-peaturan di dalam *Buku Petunjuk Pengukuran.* Menurut peraturan lama, batas-batas township disyaratkan ada dalam batas 21 menit dari arah utama. Kemudian ini dikurangi sampai menjadi 14 menit untuk menjaga garis-garis dalam agar berada dalam batas 21 menit dari arah utama.

Prosedur terperinci untuk pemecahan sebuah segiempat menjadi township dapat dijelaskan paling baik sebagai serangkaian langkah yang dirancang agar akhirnya dihasilkan jumlah maksimum bagian yang beraturan dengan sesedikit mungkin perjalanan regu lapangan yang tidak produktif. Urutan penentuan garis-garis ditunjukkan oleh nomor urut dalam Gambar 23-5. Beberapa detil dijelaskan dalam langkah-langkah berikut:

1. Mulailah pada titik sudut tenggara township baratdaya, titik *A*, setelah pengecekan rantai atau pita terhadap sebuah pengukuran 1 mil pada paralel standar.
2. Ukurlah ke utara pada meridian sebenarnya sepanjang 6 mil (garis 1), memasang pojok section berurutan dan perempatan section setiap 40 ch. Pasanglah titik sudut township *B*.

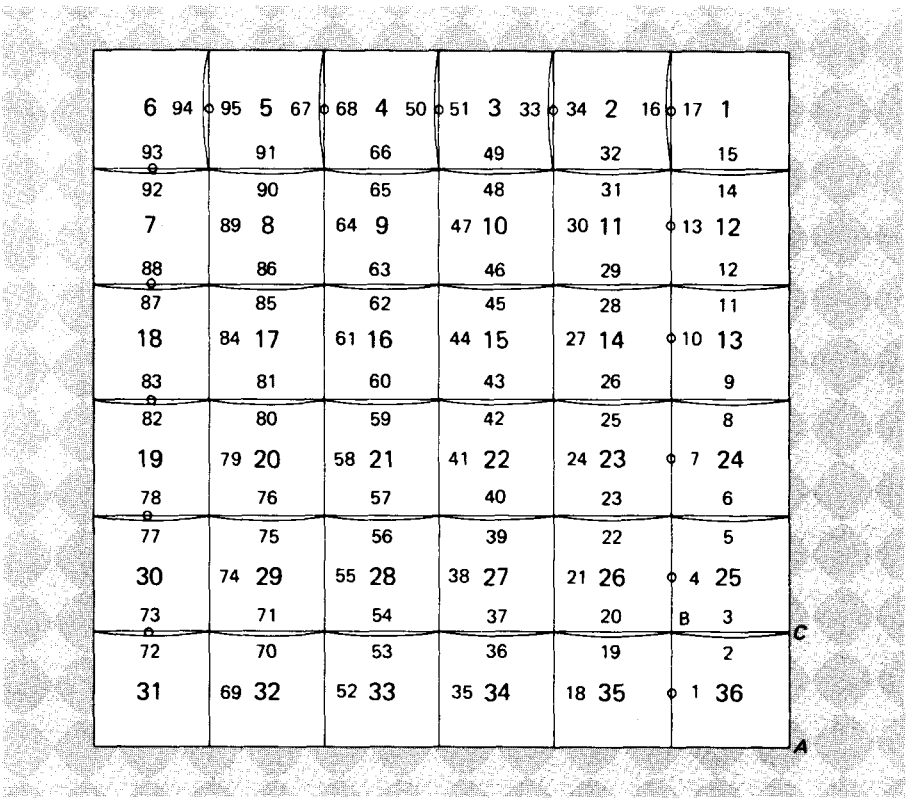


Gambar 23-6. Koreksi rangkap pada garis sembarang untuk kelebihan dan penyimpangan.

3. Dari *B*, ukurlah garis sembarang (garis 2) ke arah barat untuk memotong meridian utama. Pasanglah titik-titik sudut sementara setiap 40 ch.
4. Jika garis sembarang mempunyai kelebihan atau kekurangan 3 ch atau kurang (sudah terhitung konvergensi), dan penyimpangan utara atau selatan 3 ch atau kurang, garis itu dapat diterima. Garis itu kemudian dikoreksi kembali (garis 3) dan semua titik sudut dipasang pada tempatnya yang benar. Bila ada kelebihan atau kekurangan diletakkan ke dalam setengah mil paling barat. Cara mengoreksi garis sembarang dengan kelebihan 1 ch dan penyimpangan utara 2 ch ditunjukkan dalam Gambar 23-6.
5. Jika garis sembarang meleset dari titik pojok lebih dari 3 ch yang dibolehkan, keempat sisi township harus ditelusur kembali.
6. Prosedur yang sama diikuti sampai sudut tenggara *D*, township paling utara dicapai. Dari *D*, garis meridional 10 diteruskan sebagai meridian sebenarnya untuk memotong paralel standar atau garis basis, di mana dipasang titik penutup. Semua kelebihan atau kekurangan dalam 24 mil diletakkan ke dalam setengah mil paling utara.
7. Garis-garis meridional township kedua dan ketiga diukur dengan cara yang sama, mulai dari garis selatan segiempat.
8. Sementara garis meridional ketiga sedang diukur, garis-garis sembarang juga diproyeksikan ke timur dan dikoreksi kembali, dan bila ada kelebihan atau kekurangan diletakkan ke dalam setengah mil paling barat. (Semua titik mungkin harus dipindah searah diagonal ke garis yang dibetulkan, bukan hanya titik terakhir seperti pada Gambar 23-6).

23-11. PEMECAHAN TOWNSHIP MENJADI SECTIONS. Sekarang section diberi nomor 1 sampai 36, mulai titik pojok township timur laut dan berakhir di titik pojok tenggara, seperti ditunjukkan dalam Gambar 23-7. Cara yang dipakai untuk memecah sebuah township dapat digambarkan dengan mudah sebagai suatu rangkaian langkah untuk menghasilkan sebanyak mungkin seksi beraturan yang berisi 1 mil. Garis-garis diukur dengan urutan sebagai berikut:

1. Pasanglah titik *A* di pojok tenggara township dan amatilah meridian. Telusur kembali garis meridional ke arah utara dan garis township ke arah barat untuk sepanjang 1 mil untuk membandingkan meridian, pembacaan jarum, dan jarak-jarak dengan pita, terhadap yang sudah tercatat.



Gambar 23-7. Urutan pengukuran garis-garis untuk pemecahan sebuah township menjadi section-section.

2. Dari pojok barat daya seksi 36, ukurlah ke utara *sejajar* dengan batas timur township. Pasanglah titik perempatan section dan section pada garis 1 (Gambar 23-7).
3. Dari pojok seksi yang baru terpasang, ukurkan garis sembarang *sejajar* dengan batas selatan township ke arah timur ke garis meridional. Pasanglah sebuah titik pojok-perempatan sementara pada 40 ch.
4. Jika jarak 80 ch pada garis sembarang adalah dalam batas 50 lk (mata rantai), menyimpang atau lebih jaraknya, garis itu dapat diterima. Garis yang benar dihitung dan sebuah pojok-perempatan ditentukan lokasinya di *titik tengah* garis *BC* yang menghubungkan pojok *C* yang telah ditetapkan sebelumnya dan pojok section baru *B*.
5. Jika garis sembarang meleset terhadap pojok sebesar lebih dari yang dibolehkan yaitu 50 lk, garis-garis township harus dicek kembali dan ditentukan penyebab kesalahannya.
6. Jajaran section sebelah timur diukur dengan cara serupa sampai sudut baratdaya section 1 dicapai. Dari titik ini diukur garis sembarang ke arah utara untuk berhubungan dengan titik sudut seksi garis township utara. Sebuah sudut perempatan dipasang 40 ch dari pojok seksi selatan (pada garis 17, dibetulkan kembali oleh buku-buku petunjuk yang kemudian). Semua kekurangan dalam 6 mil diletakkan ke dalam setengah mil terakhir.
7. Garis-garis meridional section yang berurutan melintas township diukur hingga empat buah pertama diselesaikan. Semua garis utara-selatan adalah sejajar dengan

sisi timur township. Semua garis timur-barat dibuat sejajar sembarang dengan garis batas selatan dan kemudian dibetulkan kembali (sehingga mungkin tak sejajar lagi).

8. Ketika garis meridional kelima sedang diukur, garis-garis sembarang diproyeksikan ke barat maupun ke timur. Pojok perempatan di garis meridional barat dipasang 40 ch dari sisi section sebelah timur, dengan semua kelebihan dan kekurangan akibat galat-galat dan konvergensi diletakkan ke dalam setengah mil paling barat.
9. Jika sisi township sebelah utara adalah sebuah paralel standar, tidak dikerjakan pengukuran garis sembarang ke utara tetapi garis sejajar dengan batas township timur diproyeksikan ke garis koreksi dan dipasang titik-titik penutup. Jarak ke titik sudut terdekat diukur dan dicatat.
10. Sudut arah sebenarnya garis section dalam utara-selatan untuk sembarang lintang dapat diperoleh dengan menerapkan koreksi-koreksi dari tabel untuk konvergensi pada jarak yang diberikan dari batas timur.

Dengan jalan meletakkan pengaruh konvergensi ke dalam setengah mil paling barat pada township dan semua galat ke utara dan barat, diperoleh 25 section yang berbentuk teratur dengan nominal 1 mil persegi. Demikian juga, setengah section sebelah selatan 1, 2, 3, 4 dan 5; setengah section timur 7, 18, 19, 30 dan 31; dan perempatan section tenggara 6 semua berbentuk ukuran normal.

23-12. PEMECAHAN SECTION. Sebuah section adalah satuan dasar daripada sistem General Land Office (Kantor Tanah Umum), tetapi seringkali tanah didaftar dalam bidang-bidang yang lebih kecil daripada section. Pemecahan section dilaksanakan oleh juru-ukur lokal dan lainnya sewaktu pemilik memperoleh tanahnya. BLM menyediakan garis besar petunjuk tentang cara yang benar dan diinginkan dalam memecah sebuah section.

Untuk membagi sebuah section menjadi perempatan section, ditarik garis-garis lurus antara titik-titik sudut perempatan yang berhadapan yang sebelumnya telah ditetapkan atau ditetapkan kembali. Ketentuan ini berlaku baik bila titik sudut perempatan section itu sama jarak dari titik sudut section di sampingnya maupun tidak.

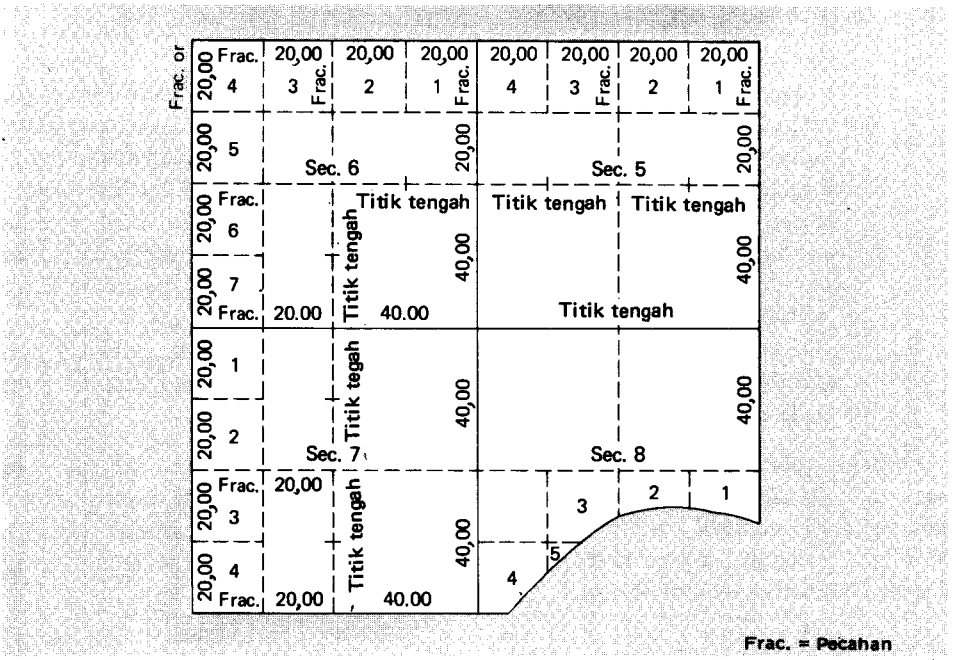
Untuk membagi sebuah perempatan section menjadi perempatan-perempatan-section, garis-garis lurus ditarik antara titik-titik sudut perempatan-perempatan-section berhadapan yang ditetapkan pada titik-titik tengah keempat sisinya. Prosedur yang sama dilaksanakan untuk memperoleh pemecahan-pemecahan yang lebih kecil.

Jika perempatan section ada di sebelah utara atau barat sebuah township, titik sudut perempatan-perempatan-section ditempatkan 20 ch dari titik sudut perempatan-section timur atau selatan – atau dengan pengukuran tunggal sebanding (lihat Par. 23-19) pada garis jika jumlah panjang di tanah tidak sama dengan jumlahnya dalam catatan.

23-13. SECTION PECAHAN. Jika section menjadi terpecah karena adanya sungai, danau atau tubuh air lainnya, dibentuklah bidang-bidang tanah yang berbatasan dengan air dan diberi nomor urut dalam section yang bersangkutan (lihat section 8 dalam Gambar 23-8). Batas bidang-bidang itu biasanya mengikuti garis perempatan-section atau perempatan-perempatan-section, tetapi dihindari bentuk yang terlalu panjang atau terlalu sempit, demikian pula halnya luas dihindari yang kurang dari 5 acre atau lebih dari 45 acre.

Perempatan-section sepanjang batas-batas township utara dan barat, yang menjadi tak beraturan karena kekurangan dalam ukuran dan konvergensi garis meridional, biasanya diberi nomor dan dijual sebagai kapling-kapling (lihat Gambar 23-8). Sebuah perempatan-seksi semacam itu di sebuah township Wisconsin luasnya mencapai 640 acre!

Garis-garis batas kapling tidak ditarik benar-benar di lapangan. Seperti garis-garis perempatan-seksi, garis-garis tersebut hanya ditunjukkan pada bidang-bidang tanah dengan



Gambar 23-8. Pemecahan section beraturan dan bagian-bagian pecahannya.

pengkaplingan di atas kertas saja. Luas kapling diukur dari bidang-bidang tanah (plats). Banyak garis perempatan-section tidak ditunjukkan pada bidang-bidang tanah.

23-14. CATATAN-CATATAN. Contoh-contoh catatan lapangan untuk masing-masing dari beberapa jenis garis yang akan ditarik, diberikan dalam berbagai buku petunjuk. Pencatatan yang sebenarnya harus mengikuti rangkaian contoh dengan baik.

Catatan asli, atau salinannya, disimpan di kantor tanah pada masing-masing negara bagian untuk kepentingan semua orang yang berminat.

23-15. GARIS BESAR LANGKAH-LANGKAH PEMECAHAN. Butir-butir yang berkaitan dengan pemecahan segi-empat menjadi township, dan township menjadi section, dibuat ringkasannya dalam Tabel 23-1.

23-16. PENANDAAN TITIK SUDUT (MARKING CORNERS). Berbagai material diboleh-kan dan dipakai untuk pembuatan tugu-tugu dalam pengukuran asli. Ini termasuk lubang dan busut, batu, tiang, arang, dan botol pecah. Pipa besi campuran berlapis seng bergaris tengah luar $2\frac{1}{2}$ in sepanjang 30 in sekarang merupakan bentuk tanda yang baku kecuali pada batuan menonjol di mana disyaratkan dibuat dari lempeng tembaga bergaris tengah $3\frac{1}{4}$ in dengan tangkai $3\frac{1}{2}$ in.

Batu dan pancang (tiang) ditandai dengan satu sampai enam takik pada satu atau dua permukaan. Susunannya memberi tanda pengenal sebuah tugu sebagai suatu bagian tertentu titik sudut section atau township. Setiap takik menunjukkan jarak 1 mil ke sebuah titik sudut atau garis township. Perempatan-section ditandai dengan pecahan "$\frac{1}{4}$" pada satu permukaan.

Di daerah padang rumput, di mana jarang ada batu besar atau pohon besar, dipakai sistem lubang dan busut untuk menandai titik sudut. Pengelompokan lubang dan busut yang berbeda, dengan kedalaman 12 in lebar 18 in persegi, merupakan titik sudut beberapa kelas.

TABEL 23-1. LANGKAH-LANGKAH PEMECAHAN

butir	PEMECAHAN SEBUAH BIDANG	PEMECAHAN SEBUAH TOWNSHIP
Titik awal	Sudut Tenggara dari township Barat-Daya	Sudut Barat-Daya section Tenggara (36)
Garis meridional		
Nama	Garis meridional	Garis section
Arah	Utara sebenarnya	Urata, sejajar garis meridional timur
Panjang	6 mil = 480 ch	1 mil = 80 ch
Pemasangan sudut	Section perempatan dan sudut section pada jarak 40 dan 80 ch bergantian	Sudut section-perempatan pada jarak 40 ch; sudut section pada 80 ch
Garis lintang		
Nama	Garis township	Garis section
Arah sembarang	Paralel timur-barat sebenarnya	Timur, sejajar dengan sisi selatan section
Panjang	6 mil dikurangi konvergensi	1 mil
Galat yang dibolehkan	3 ch, panjang atau kurang	50 lk (mata rantai), panjang atau kurang
Agihan galat		
Kurang	Titik sudut diubah sebanding dari garis sembarang ke sebenarnya	Titik sudut diubah sebanding dari garis acak ke sebenarnya
Jarak	Semua galat diletakkan pada section-perempatan barat	Galat dibagi rata di antara section-perempatan

[*Pekerjaan diulang sehingga sisi antara wilayah dicapai. Pemecahan wilayah terakhir pada jajaran utara township dan section menyusul.*]

KASUS I. JIKA GARIS DI UTARA ADALAH PARALEL STANDAR

BUTIR	PEMECAHAN SEBUAH BIDANG	PEMECAHAN SEBUAH TOWNSHIP
Arah garis	Utara sebenarnya	Utara, sejajar dengan garis meridional timur.
Agihan galat dalam jarak	Ditempatkan dalam section-perempatan utara	Ditempatkan dalam section-perampatan utara
Sudut ditempatkan di ujung	Titik-sudut penutup	Titik-sudut penutup
Galat yang dibolehkan	Ditentukan dalam *Buku Petunjuk Pengukuran*	Ditentukan dalam *Buku Petunjuk Pengukuran*

KASUS II. JIKA GARIS DI UTARA BUKAN STANDAR PARALEL		
Arah garis	Tak ada kasus	Utara sembarang dan dikoreksi kembali terhadap titik sudut section yang telah ditetapkan
Agihan galat dalam panjang		Sama dengan kasus I
[*Garis township dan section diteruskan sehingga semua tergambar kecuali dua buah.*]		
Lokasi dua garis terakhir	Pada sisi timur bidang	Pada sisi barat township
Garis sebelum terakhir yang dibagi	Seperti sebelumnya	Seperti sebelumnya
Garis terakhir	Timur sebenarnya	Ke arah Barat, sejajar dengan sisi Selatan section
Arah sembarang		
Panjang nominal	6 mil dikurangi konvergensi	1 mil dikurangi konvergensi
Koreksi untuk titik sudut sementara	Titik-titik sudut dipindahkan sebanding dari garis sembarang ke garis sebenarnya	Titik sudut dipindahkan sebanding ke garis sebenarnya
Agihan galat penutup	Titik-titik sudut dipindahkan ke arah barat atau timur untuk menempatkan galat di section-perempatan barat	Titik sudut ditempatkan pada garis sebenarnya sedemikian rupa sehingga seluruh galat masuk pada section-perempatan sebelah barat

Kalau tidak ditunjukkan dengan tanda jenis lain, titik-titik sudut ini hilang pada waktu pembajakan tanah pertama.

23-17. TITIK SUDUT SAKSI. Di mana memungkinkan, tugu-tugu diikatkan pada dua atau lebih obyek yang berdekatan seperti pohon-pohon dan tonjolan batuan. Pohon-pohon ikatan dikupas kulitnya sedikit pada bagian yang menghadapi tugu dan ditandai dengan pahat.

Jika sebuah titik sudut biasa tepat jatuh di kali, kolam, rawa atau tempat lain di mana tidak dapat dilaksanakan penempatan tanda, maka dipasanglah *titik-titik sudut saksi* (*witness corner* – WC) pada semua garis yang menuju ke titik sudut itu. Huruf WC ditambahkan pada semua titik lain yang biasanya ditempatkan di sudut, dan kemudian WC diberi titik sudut saksi juga.

23-18. TITIK SUDUT TEPI AIR. Sebuah titik sudut tepi air (meander corner – MC) ditetapkan pada garis ukur yang memotong tepi sungai yang lebarnya lebih dari 3 ch, atau sebuah danau, cabang sungai, atau tubuh air yang luas. Jarak ke titik sudut section terdekat atau sudut perempatan-section diukur dan dicatat dalam catatan. Sebuah tugu dipasang dan ditandai MC pada permukaan yang menghadap ke air, dan dipasang beberapa MC pada permukaan yang menghadap ke air, dan dipasang beberapa WC seperti biasa. Jika dapat dilaksanakan, garis ditarik menyeberangi sungai atau tubuh air lainnya dengan triangulasi ke titik sudut lain pada garis di tepi seberang.

Sebuah poligon menghubungkan titik-titik sudut tepi air berturut-turut sepanjang tepi sungai atau danau dan sedapat mungkin mengikuti liku-liku tepi air. Poligon ini dicek dengan menghitung kedudukan titik tepi air baru dan membandingkannya dengan kedudukannya yang diketahui pada garis terukur.

Garis tepi air yang berkelok-kelok mengikuti batas genangan rata-rata tinggi dan hanya dipakai untuk menggambar dan mengkartir luas saja. Garis-garis ini *bukan* batas-batas yang menunjukkan bidang pemilikan yang berbatasan dengan air.

23-19. TITIK SUDUT YANG HILANG DAN TAK BERBEKAS. Sebuah masalah yang biasa dijumpai dalam pengukuran kembali tanah negara adalah penggantian titik-titik sudut yang hilang atau tak berbekas. Tugas yang sulit ini memerlukan gabungan pengalaman, kerja keras, dan waktu lama untuk menetapkan kembali lokasi patok atau pancang kayu tugu yang salah penempatannya, barangkali seratus tahun yang lalu pada sebuah garis section yang meragukan dan semua pohon saksi sudah lama ditebang atau dibakar oleh pemilik yang tak acuh.

Sebuah *titik sudut yang tak berbekas* (obliterated) adalah titik sudut yang tak berbekas lagi tugunya atau pembantunya, tetapi lokasinya telah tercatat atau dapat diketemukan tanpa keraguan. Titik sudut itu dapat dipugar dari tindakan dan kesaksian pemilik tanah yang bersangkutan, juru-ukur, pejabat lokal yang berwenang, saksi-saksi, atau dari bukti-bukti tertulis. Bukti-bukti yang kuat mempunyai nilai dengan urutan seperti berikut:

1. Bukti-bukti titik sudut itu sendiri.
2. Tanda-tanda saksi pohon dan lain-lain.
3. Pagar, dinding, atau bukti lain menunjukkan kedudukan hak pemilikan terhadap garis-garis atau sudut.
4. Kesaksian-kesaksian orang yang masih hidup.

Sebuah titik sudut yang hilang adalah titik sudut yang kedudukannya tak dapat ditentukan, tanpa keraguan lagi, baik dari bekas tanda-tanda asli atau dari kesaksian yang dapat diterima atau kesaksian yang berkaitan dengan kedudukan aslinya. Titik sudut ini dapat dipugar hanya dengan mengukur kembali garis-garis dari satu titik sudut mandiri atau lebih (titik yang ada yang ditetapkan pada waktu yang sama dan dengan kecermatan yang sama dengan titik sudut yang hilang). Pengukuran-pengukuran sebanding mengagihkan kelebihan atau kekurangan antara sebuah jarak yang baru saja diukur d antara tugu-tugu yang ditemukan terdekat menghadap tugu yang hilang, dengan jarak tercatat D yang ada dalam catatan pengukuran asli antara tugu-tugu itu. Kemudian jarak x dari salah satu tugu yang diketemukan yang diperlukan untuk memasang titik yang hilang dihitung dengan perbandingan sebagai: $x = X(d/D)$, di mana X adalah jarak dalam catatan dari tugu tersebut.

Pengukuran sebanding-tunggal mengikuti prosedur yang baru saja dijelaskan, dan dipakai untuk menentukan kembali lokasi titik sudut yang hilang yang mempunyai pelurusan khusus pada satu jurusan saja. Ini termasuk titik sudut baku pada garis basis dan paralel standar, titik sudut perantara section pada batas-batas township, semua titik perempatan-section, dan titik sudut tepi air yang aslinya ditetapkan pada garis-garis yang ditarik menyeberangi tubuh air yang dapat ditetapkan titik sudut tepi airnya.

Pengukuran sebanding-ganda dipakai untuk menetapkan titik sudut yang hilang yang aslinya terletak dengan pelurusan khusus dalam dua jurusan, misalnya titik sudut dalam section dan titik sudut bersama untuk empat township. Prosedur umum untuk pengukuran sebanding-tunggal digunakan, tetapi dalam dua jurusan. Ini akan menghasilkan dua titik: sebuah pada garis utara-selatan dan lainnya pada garis timur-barat. Titik yang hilang kemudian ditetapkan lokasinya pada titik potong garis-garis dari kedua titik, tegaklurus garis-garis utara-selatan dan timur-barat.

23-20. KETELITIAN PENGUKURAN TANAH NEGARA. Ketelitian yang disyaratkan dalam pengukuran dahulu adalah dalam tingkat amat rendah. Seringkali hal ini berada di bawah apa yang ditunjukkan dalam catatan. Sebagian kecil pengukuran dilaksanakan de-

ngan penggambaran khayalan di dalam tenda yang cukup nyaman; tak ada tugu dipasang dan catatan-catatan hanya mengacaukan keadaan bagi juru-ukur dan pemilik sekarang. Beberapa juru-ukur menambah sebuah panjang rantai pada waktu-waktu tertentu untuk menjamin pengukuran yang bulat.

Banyak pengukuran di sebuah county di California merupakan penipuan. Di negara bagian lain, sebuah meridian sepanjang 108 mil diukur tanpa memperhitungkan pemegang rantai yang panjangnya 66 ft. Ketika ketahuan garis ini diukur kembali tanpa pembayaran tambahan.

Hasil yang buruk yang diperoleh di berbagai wilayah terutama disebabkan karena hal-hal yang berikut:

1. Kurangnya tenaga terlatih; beberapa kontrak kerja diberikan kepada orang-orang yang tidak terlatih secara teknis.
2. Peralatan yang amat sederhana bila diukur dengan standar sekarang.
3. Pekerjaan dilaksanakan dengan kontrak harga rendah.
4. Pekerjaan dilaksanakan dengan cara sedikit demi sedikit sewaktu hak-hak orang Indian dan tuntutan lainnya dihilangkan.
5. Serangan Indian, gangguan serangga, binatang dan reptil berbahaya.
6. Kurangnya pengertian perlunya mengerjakan pekerjaan teliti.
7. Pengawasan lapangan tak teratur atau tak ada.
8. Besarnya masalah.

Secara umum, setelah memperhitungkan hambatan-hambatan di atas, pekerjaan dilaksanakan cukup baik dalam kebanyakan kasus.

23-21. GAMBARAN (PENJELASAN) DENGAN TOWNSHIP, SECTION DAN PEMECAHAN (PETAK) YANG LEBIH KECIL. Penjelasan dengan sistem section memberikan cara untuk menetapkan batas secara unik, jelas dan ringkas. Beberapa contoh penjelasan yang dapat diterima adalah seperti di bawah ini. (lihat Paragraf 23-9)

Sec. 6, T 7 S, R 19 E, 6th PM.
Frac. Sec. 34, T 2 N, R 5 W, Ute Prin. Mer.
The $SE\frac{1}{4}$, $NE\frac{1}{4}$, Sec. 14, Tp. 3 S, Range 22 W, SBM [San Bernardino Meridian].
$E\frac{1}{2}$ of $NE\frac{1}{4}$ of Sec. 20, T 15 N, R 10 E, Indian Prin. Mer.
E 80 acres of $NE\frac{1}{4}$ of Sec. 20, T 15 N, R 10 E, Indian Prin. Mer.

Perhatikan bahwa dua penjelasan terakhir tidak perlu berarti menerangkan tanah yang sama. Sebuah kasus di California seperti ini terjadi bila pemilik perempatan-section. Barat-Daya, secara nominal seluas 160 acre tetapi sebenarnya 162,3 acre, membuat akta bagian barat sebagai "Barat 80 acre" dan bagian timur sebagai "Timur $\frac{1}{2}$".

Tanah section yang dimiliki secara pribadi dapat dipecah dengan sembarang cara yang sah menurut kehendak pemilik. Bentuk ukuran-dan-batas lebih disukai untuk bidang-bidang tak teratur. Dalam kenyataannya, ukuran-dan-batas diperlukan untuk menetapkan batas-batas penguasaan bahan galian mineral dan berbagai hibah dan cagar alam.

Perbedaan antara lokasi tanah secara fisis dan yuridis (sah) dan luas, dapat terjadi sebagai akibat penyimpangan dari prosedur yang dapat diterima dalam hal penulisan penjelasan, pernyataan yang tidak pasti dan tidak jelas, atau ketergantungan pada ketelitian pengukuran zaman dulu.

23-22. SUMBER-SUMBER GALAT. Beberapa dari banyak sumber galat dalam mencari kembali pengukuran tanah negara adalah:

1. Perbedaan antara panjang rantai pengukur zaman dulu dengan pita ukur modern atau pembacaan EDMI.
2. Perubahan deklinasi magnetik, gaya tarik lokal atau keduanya.
3. Kurang sesuainya (cocoknya) antara catatan lapangan dan pengukuran sebenarnya.
4. Perubahan dalam arah air.
5. Pemakaian obyek tak permanen untuk tanda titik sudut.
6. Hilangnya titik sudut saksi.

23-23. KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan khas dalam pencarian kembali batas-batas dalam pengukuran tanah negara adalah:

1. Tidak diikutinya aturan umum prosedur yang mengatur pengukuran asli.
2. Kelalaian mengecek pita ukur yang dipakai terhadap jarak tercatat untuk tanda-tanda yang ada di tempat.
3. Pemasangan kembali titik-titik sudut tanpa memakai segala cara penetapan kembali titik sudut asli.

SOAL-SOAL

23-1. Apakah kebaikan faktor pengali 1:132 dalam pengukuran tanah-negara?

23-2. Mengapa batas-batas tanah negara yang ditetapkan oleh juru-ukur yang diangkat sebagaimana mestinya itu tak dapat diubah, walaupun dipasang dengan tidak benar dalam pengukuran aslinya?

23-3. Apakah perbedaan utama antara petunjuk dan praktek asli dan sekarang dalam memberi antara titik-titik sudut dan menarik garis-garis section?

23-4. Sebutkan kebaikan dan kelemahan penarikan garis basis dan paralel standar dengan masing-masing dari ketiga cara.

Tentukan penyimpangan dari, dan azimut, sebuah secant untuk meletakkan sebuah paralel lintang dalam Soal 23-5 dan 23-6. Gambarkan nilai-nilainya.

23-5. Pada lintang 42°U.

23-6. Pada lintang 31°30′U.

23-7. Pada lintang 44°U, berapakah penyimpangan maksimum dari secant ke paralel, dan selisih antara azimuth secant dan arah utama?

23-8. Berapakah konvergensi dua meridian dalam ft (a) aslinya terpisah 12 mil, memanjang 12 mil, pada lintang 36°U; dan (b) terpisah 6 mil, pada lintang 46°30′U?

23-9. Hitunglah jarak nominal dalam mil antara (a) Meridian Pedoman Pertama garis meridional Timur dan Barat R 27 E, dan (b) titik sudut Tenggara Sec. 2, T 6 S, R 5 E, Choctaw PM dan titik sudut Barat Laut Sec. 11, T 6 S, R 3 E.

23-10. Berapa jauh dari PM titik sudut perempatan-perempatan section Sec. 36, T 1 N, secara teoritis tepat di hadapan sebuah titik sudut section Sec. 6, T 1 S, karena konvergensi pada lintang 38° U?

23-11. Gambarlah lokasi titik-titik sudut penutup pada garis-garis township dan wilayah yang dicakupnya!

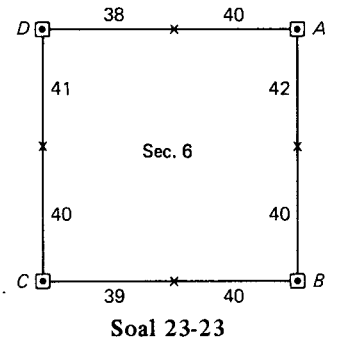
23-12. Langkah-langkah apakah dalam pemecahan tanah-negara yang diserahkan kepada juru-ukur lokal?

Buatlah sketsa dan jelaskan nama garis yang bersangkutan, serta jarak-jarak yang sah, dan hitunglah luas nominal bidang-bidang tanah yang dijelaskan dalam Soal 23-13 sampai dengan 23-15.

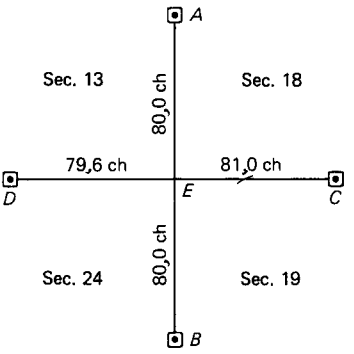
23-13. $S\frac{1}{2}$, $NW\frac{1}{4}$, Sec. 26, T 3 N, R 5 W, Boise PM.

23-14. $NE\frac{1}{4}$, $SW\frac{1}{4}$, Sec. 21, T 4 N, R 2 W, 4th PM.

23-15. NE¼, SE¼, NE¼, Sec. 8, T 1 N, R 2 W, Indian PM.
23-16. Berapa banyak anjir diperlukan untuk meliputi (a) SE¼, SW¼, Sec. 27, T 12 N, R 5 W dan NE¼, SW¼, Sec. 27? (b) Secs. 9, 16, 21, 22, 27?
23-17. Berapakah galat jarak yang dibolehkan dalam menentukan lokasi titik sudut Barat Laut T 1 N, R 1 E?
23-18. Sebutkan nama garis yang ditarik sebagai garis acak, dan garis yang dipasang paralel (sejajar).
23-19. Titik-titik sudut NW¼ daripada SE¼ Sec. 10, akan dipasangi tugu. Jika semua section dan perempatan-section mempunyai titik sudut yang aslinya dipasang di tempat, gambarlah semua garis yang akan ditarik dan titik sudut yang dipasang.
23-20. Garis timur NE¼ Sec. 4 mempunyai jarak tercatat 40,12 ch dan panjang diukur di lapangan 40,20 ch. Di mana titik sudut Tenggara kapling 1 harus dipasang? Jelaskan.
23-21. Batas selatan sebuah township terletak pada sebuah paralel standar pada lintang 42°U. Berapakah panjang teoritis batas utaranya?
23-22. Titik sudut perempatan-section antara Secs. 28 dan 29 didapat sebesar 40,28 ch dari titik sudut bersama untuk Secs. 20, 21, 28 dan 29. Di mana titik sudut perempatan section harus dipasang dalam memecah Sec. 29?
23-23. Seperti ditunjukkan dalam gambar, dalam sebuah township normal ukuran luar Sec. 6 di barat, utara, timur dan selatan sisinya adalah 81, 78, 82 dan 79 ch berturut-turut. Jelaskan dengan sebuah sketsa bagaimana membagi section menjadi perempatan-perempatan section.



Soal 23-23



Soal 23-24.

23-24. Gambar soal menunjukkan jarak-jarak asli. Titik-titik sudut *A*, *B*, *C* dan *D* diketemukan, tetapi *E* hilang. Jarak-jarak terukur *AB* = 160,4 ch dan *CD* = 164,2 ch. Jelaskan bagaimana menetapkan titik sudut *E*.

Untuk memugar titik-titik sudut dalam Soal 23-25 sampai dengan 23-28, cara manakah yang dipakai, sebanding-tunggal atau sebanding-ganda?

23-25. Titik-titik sudut pada meridian penunjuk; titik sudut section pada garis meridional.
23-26. Titik sudut section pada garis section; titik sudut twonship pada garis township.
23-27. Titik sudut perempatan-section pada garis meridional.
23-28. Titik sudut perempatan-perempatan section pada garis section.
23-29. Bagaimana ukuran dan batas dipakai dalam wilayah terukur tanah-negara?
23-30. Mengapa garis titik sudut tepi air tak dapat diterima sebagai batas yang menentukan pemilikan tanah yang berdampingan dengan sebuah sungai atau danau?
23-31. Di mana belokan terjadi pada deretan bertingkat township?
23-32. Apakah sebuah titik-sudut-kedelapan sebuah istilah baku? Terangkan.
23-33. Apakah akta dan perjanjian yang melibatkan tanah itu efektif bila tidak dalam bentuk tertulis?
23-34. Mengapa luas banyak section tanah-negara lebih kecil daripada ukuran nominalnya?

DAFTAR PUSTAKA

Bowman, L.J. 1978. "Pemecahan Section pengukuran Segiempat di Amerika Serikat," *Surveying and Mapping* 33(no. 4): 307.

Brown, C.M. 1969. *Pengawasan Batas dan Prinsip-prinsip Hukum,* edisi kedua. New York: Wiley.

Brown, C.M. 1976. "Pengenalan Tugu." *Surveying and Mapping* 36(no. 3): 223.

Brown, C.M., W.G. Robilard, dan D.A. Wilson. 1981. *Bukti dan Prosedur untuk Lokasi Batas,* edisi kedua. New York: Wiley.

Brown, N.D. 1975. "Pemugaran Tugu Titik Sudut di Missouri." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 101(no. SU 1): 101.

Grady, B.J., dan M. Stough. 1981. "Kekacauan Pengukuran Hutan Menimbulkan Sengketa Batas." *Surveying and Mapping* 74(no. 1): 33.

Greulich, G. 1981. "Penyakit Pengukuran Kacau – Sebuah Pendapat Kedua." *Surveying and Mapping* 41(no. 3): 289.

Lampert, L.M. 1980. "Pencarian kembali." *Surveying and Mapping* 40(no. 3): 315.

McCall, C.E. 1980. "Pengkaplingan Tanah Dewasa Ini." *Surveying and Mapping* 40(no. 4): 415.

McEntyre, J.G. 1978. *Sistem-sistem Pengukuran Tanah.* New York: Wiley.

McEntyre, J.G. 1981. "Pemecahan sebuah Section." *Surveying and Mapping* 41(no. 4): 385.

Laporan kepada Kongres. 1854. "Juru Ukur dan Perundang-undangan." *Surveying and Mapping* 37 (no. 2): 161.

Shartle, S.M. 1979. "Lagi: Pemecahan Section dalam Pengukuran Segiempat di Amerika Serikat." *Surveying and Mapping* 38(no. 4): 307.

Departemen Dalam Negeri Amerika Serikat, Biro Pengelolaan Tanah. 1973. *Buku Petunjuk Pengukuran Tanah.* Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

Departemen Dalam Negeri Amerika Serikat, Biro Pengelolaan Tanah. 1974. *Pemugaran Titik Sudut yang Hilang atau Tak berbekas dan Pemecahan Section.* Washington, D.C.: U.S. Guvernment Printing Office.

Whittlesey, C. 1977. "Asal-usul Sistem Pengukuran Tanah di Amerika." *Surveying and Mapping* 37 (no. 2): 129.

William, M.G. 1981. "Sir William Petty, Thomas Jefferson, dan Pengukuran Tanah Down: Sebuah Pandangan Segar tentang Sistem Tanah Negera Amerika Serikat." *Surveying and Mapping,* 41(no. 1): 77.

24 PENGUKURAN – PENGUKURAN KONSTRUKSI

24-1. PENGANTAR. Konstruksi (rancang bangun) adalah salah satu industri yang terbesar di Amerika Serikat, sehingga pengukuran tanah sebagai basis untuknya, adalah sangat penting. Diperkirakan bahwa 60% dari seluruh waktu pengukuran tanah digunakan untuk pekerjaan jenis lokasi yang berkenaan dengan penarikan garis dan tanjakan (gradien). Sayang bahwa kurang cukup perhatian diberikan pada pengukuran jenis ini.

Sebuah pengukuran topografik yang teliti dan peta lokasi adalah sarana pertama dalam merancang jalan-jalan, pembuangan limbah dan saluran air, serta struktur. Kemudian juru-ukur menata letak dan kedudukan fasilitas-fasilitas ini menurut rencana rancangan. Sebuah peta akhir yang bersifat "seperti-dibangun," memuat segala macam perubahan yang diterapkan terhadap rencana rancangan, dibuat selama dan setelah rancang-bangun, dan kemudian diarsipkan. Peta-peta demikian ini sangat penting, terutama di mana terlibat utilitas bawah tanah, untuk menjamin agar dapat ditentukan lokasinya dengan cepat bila terjadi kesulitan atau kerusakan dan tidak akan terganggu oleh perbaikan yang menyusul.

Juru-ukur yang bertugas sebaiknya menerima salinan-salinan rencana cukup waktu sebelum rancang bangun dilaksanakan agar mengenal tugasnya dan mempunyai cukup waktu untuk mengadakan "pengikatan" atau "pemindahan" titik-titik tetap yang ada yang mungkin tergusur selama pembangunan berlangsung. Cara-cara dalam Gambar 16-1, terutama bagian-bagian 6(a) dan (b), dapat dipakai dengan sudut perpotongan sedekat mungkin dengan 90°. Sipat datar memanjang dilaksanakan untuk menetapkan titik-titik tetap duga baru yang cukup terhindar dari wilayah pembangunan tetapi cukup dekat untuk kemudahan acuan.

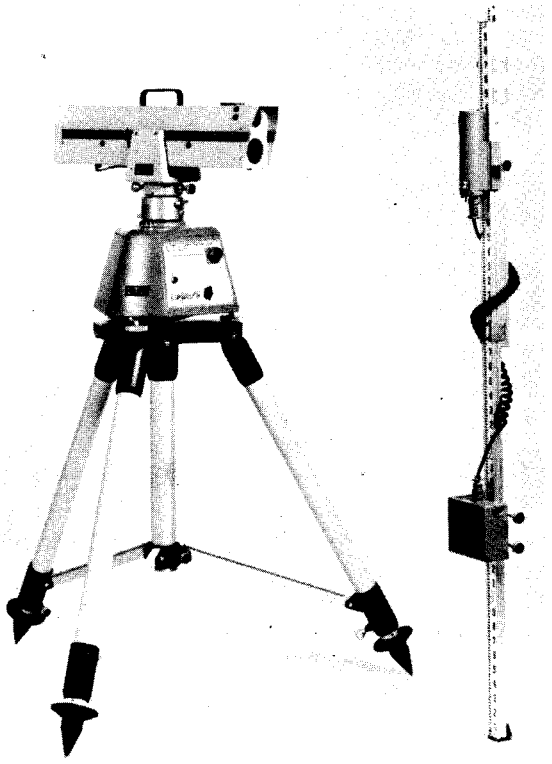
Beberapa jenis umum pengukuran konstruksi, yang sebaiknya dikenal oleh tiap juru-ukur, insinyur, dan arsitek, akan dijelaskan secara ringkas dalam bab ini. Pengukuran konstruksi dapat dipelajari sebaik-baiknya dalam pekerjaan dengan jalan memakai prinsip-prinsip dasar pada tugas yang ditangani. Karena tiap proyek dapat melibatkan masalah-masalah terpisah, liputan buku teks cenderung dibatasi pada material pengantar.

24-2. PERALATAN UNTUK PENGUKURAN KONSTRUKSI. Pemasangan pancang untuk garis dan tanjakan sebagai pedoman pelaksanaan konstruksi secara tradisional telah dilaksanakan memakai peralatan baku untuk juru-ukur – alat sipat datar, teodolit, pita ukur, dan lebih belakangan ini adalah EDMI. Prosedur dasar pengukuran untuk mengukur jarak horisontal dan vertikal serta sudut, seperti dijelaskan dalam bab-bab sebelumnya, telah diterapkan. Walaupun teknik-teknik ini masih dipakai secara luas, kemajuan-kemajuan baru dalam teknologi modern telah menghasilkan beberapa peralatan pembaharuan dan prosedur yang telah diperbaiki, disederhanakan, dan sangat mempercepat pemasangan pancang konstruksi. Alat-alat baru ini termasuk instrumen sinar-laser-nampak, alat-alat ukur-jarak elektronik jarak pendek yang dapat dioperasikan dalam "cara pelacakan" dan satuan-satuan "stasiun-kotah" (stasiun lengkap).

Tujuan dasar instrumen laser adalah menciptakan sebuah garis nampak yang diketahui orientasinya, atau sebuah bidang yang diketahui elevasinya, dari mana dapat dilaksanakan pengukuran untuk garis dan tanjakan. Dua jenis laser umum dibicarakan di sini.

1. *Laser sinar-tunggal* memancarkan "garis tali" atau "garis unting-unting" yang nampak, dipakai dalam pelurusan linier dan vertikal misalnya penggalian terowongan, pemasangan pipa pembuangan air dan konstruksi gedung.
2. *Laser sinar-putar* tak lain adalah laser sinar-tunggal dengan optika berputar yang memutar sinar dalam azimut, sehingga terjadi bidang acuan. Alat ini mempercepat penempatan pancang tanjakan pada bidang luas seperti lapangan terbang, lapangan parkir, dan pengkaplingan, tetapi juga berguna untuk pemetaan topografik. Sinar laser tidak mudah terlihat oleh mata manusia di sinar matahari terang sehingga dipakai penangkap khusus yang dilekatkan pada rambu yang dipegang. Laser sinar-putar yang lebih baru, bersifat swa-sipat-datar dan cepat dapat dipasang. Pembacaan teliti dapat diperoleh pada jarak sampai 1000 ft. Jika karena sesuatu sebab terbentur hingga tidak mendatar lagi, sinar laser mati dan tak akan hidup lagi sampai didatarkan kembali. Gambar 24-1 menunjukkan sebuah model demikian, sebuah alat sipat datar laser pelacak yang secara otomatis berputar keliling untuk mengikuti (melacak) sebuah rambu sipat datar yang dilengkapi sebuah "sistem Trak-Tronic" dan memproyeksikan sebuah noda merah di atasnya. Setelah TI ditetapkan, instrumen dapat mengendalikan elevasi pada wilayah seluas 1.000.000 ft^2 dari sebuah titik berdiri tanpa diperlukan operator, hanya seorang pemegang rambu.

Teodolit digabung dengan EDMI yang secara otomatis mereduksi jarak miring menjadi komponen horisontal dan vertikal, dan instrumen "stasiun-kotah" juga sangat mudah dipakai dalam pemancangan konstruksi. Dalam memakai alat ini, koordinat titik yang diduduki dan titik yang dipancang, dapat dihitung. Dari koordinat-koordinat ini, azimut dan jarak horisontal ke kedudukan pancang yang diperlukan dapat dihitung. Di stasiun yang diduduki, diambil bidikan belakang dengan teodolit pada garis yang diketahui koordinatnya, dan arah ke sebuah pancang yang diperlukan dapat dibaca. Mengoperasikan EDMI dalam cara melacak, dilakukan dengan anjir dilengkapi prisma ditempatkan pada garis dan diatur kedudukannya agar terbaca jarak horisontal yang diperlukan, di mana sebuah pancang ditanam. Pancang dapat pula dipasang pada elevasi yang diperlukan. Dengan prisma dipasang pada anjir setinggi sama dengan tinggi instrumen EDMI, tinggi pancang dapat diatur sehingga komponen jarak vertikal diperoleh dengan EDMI adalah selisih elevasi antara pancang dan titik stasiun yang diduduki.



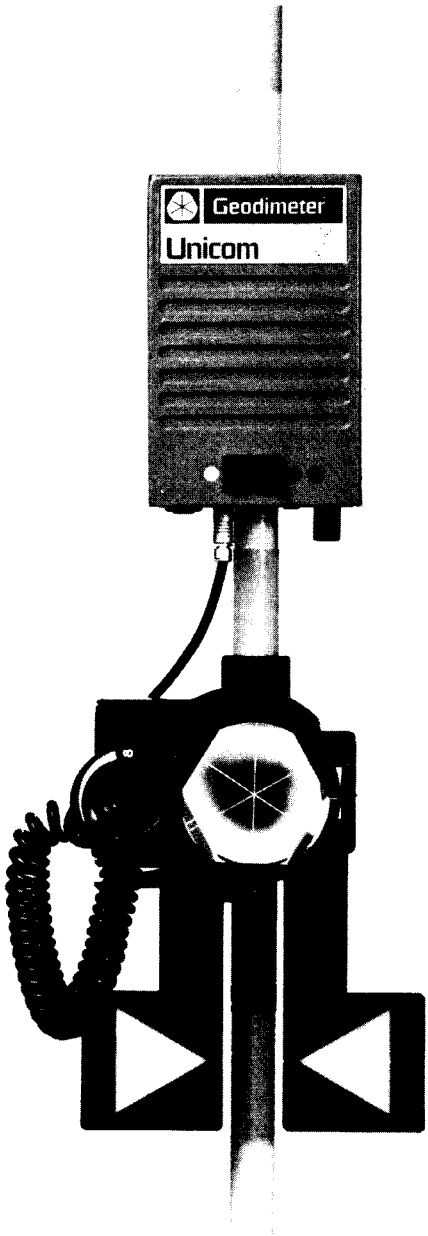
Gambar 24-1. Alat sipat datar pelacak dan rambu laser yang dilengkapi dengan sistem Trak-Tronic. (Atas kebaikan Construction Laser Div., Blount Industries, Inc.)

Sistem prisma pelacak khusus telah dikembangkan, yang memancarkan tengara kepada operator anjir untuk membantu agar pemasangannya di lokasi yang diperlukan dapat lebih cepat. Gabungan anjir pemantul pelacak yang diperlihatkan pada Gambar 24-2 misalnya, menghasilkan sinar yang nampak hijau pada prisma bila di kiri garis, merah bila di kanan, dan putih bila tepat pada garisnya. Alat ini juga memungkinkan komunikasi suara dari operator EDMI, yang sangat membantu proses pemancangan, terutama pada bidikan-bidikan panjang (jauh).

Dengan alat-alat stasiun-kotah ini, karena masing-masing titik dipasang sendiri-sendiri, perlu dicek lokasi pancang setelah dipasang. Biasanya ini dapat dilaksanakan dengan mengerjakan secara cepat pengukuran jarak antara titik-titik, atau dengan pengecekan visual untuk melihat apakah titik-titik yang mestinya segaris lurus sudah demikian kenyataannya, dan lengkungan sudah halus.

Konstruksi pesawat terbang dan kapal laut memerlukan peralatan dan metode-metode khusus sebagai bagian cabang pengukuran yang unik yaitu *pelurusan optis* (optical tooling). Lokasi tepat dan pembangunan anjungan pengeboran minyak lepas pantai bermil-mil dari pantai memakai teknologi pengukuran baru seperti sistem-sistem kelembaman dan doppler satelit (lihat Paragraf 20-14 dan 20-15).

24-3. TITIK KONTROL HORISONTAL DAN VERTIKAL. Pentingnya sebuah jaringan titik kontrol horisontal dan vertikal yang baik di wilayah proyek tak perlu diragukan lagi. Jaringan ini memberikan dasar untuk meletakkan struktur, utilitas, jalan-jalan dan seterusnya, baik pada tahap perancangan maupun konstruksi. Terlalu sering, ada usaha-usaha untuk menghemat pembuatan tanda-tanda yang benar dan membuat tugunya untuk pelestarian.



Gambar 24-2. Anjir dengan prisma dan sistem pelacakan khusus untuk memandu penempatan pancang. (Atas kebaikan AGA Geodimeter, Inc.)

Pada kebanyakan proyek, titik kontrol tambahan diperlukan untuk melengkapi yang sudah ada di wilayah pekerjaan. Titik-titik itu harus:

1. Memberi kemudahan pemakaian bagi personil pemborong – yaitu, terletak cukup dekat kepada bangunan yang dibuat sehingga pekerjaan dengan alat yang nisbi sederhana seperti alat waterpas tukang kayu dan garis benang dapat memindahkan pelurusan dan tanjakan dengan teliti.
2. Cukup jauh dari konstruksi sebenarnya untuk menjamin adanya ruang kerja untuk pemborong dan bebas dari kemungkinan kerusakan pancang.

3. Diberi tanda dengan jelas dan dimengerti oleh pemborong dalam keadaan tak ada juru-ukur.
4. Dilengkapi dengan pancang pengaman untuk mencegah pemindahan, dan diacukan agar memungkinkan pemugarannya (penemuan kembali). Kontrak-kontrak biasanya mensyaratkan pemilik untuk membayar biaya pemasangan titik kontrol awal dan pemborong untuk mengganti titik kontrol yang rusak atau hilang.
5. Cocok untuk memperoleh ketelitian yang disepakati pada rancangan konstruksi (yang mungkin hanya sampai foot terdekat untuk lubang pengawasan, 0,01 ft untuk sebuah baut angker, atau 0,001 ft untuk sebuah bentuk kritis).

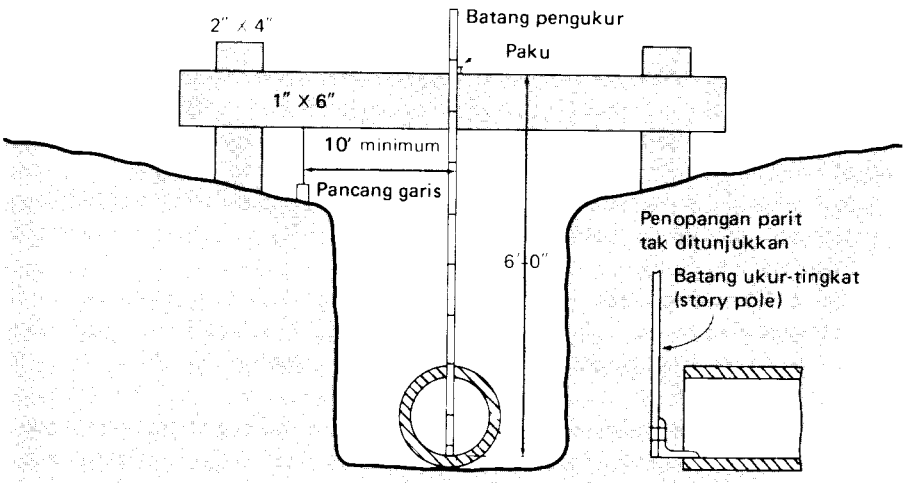
24-4. PEMANCANGAN UNTUK JALUR PIPA. Aliran dalam jalur air biasanya dengan tekanan, tetapi kebanyakan saluran pembuangan mempunyai aliran gravitasi. Oleh karena itu pelurusan dan tanjakan, untuk yang akhir ini harus lebih teliti. Jalur air yang lebih besar juga mempunyai tanjakan tertentu karena diperlukan "lubang kuras" di titik rendah dan "pelepasan udara" di tempat tinggi. Tanjakan itu tetap karena keadaan, misalnya topografi, yang mempengaruhi kedalaman galian aliran penghubung, lubang pengawas, titik lepas (outfalls) dan kolam-tangkap lumpur (catch basins).

Pancang-pancang konstruksi, kadang-kadang dipasang pada garis sumbu berantara 50 ft bila tanah kira-kira cukup seragam, hilang karena lintasan pertama penggali parit atau buldoser, sehingga perlu dibuat *garis simpangan* sejajar. Tanda-tanda harus lebih dekat satu sama lain pada lengkungan horisontal dan vertikal daripada di bagian lurus. Untuk pipa-pipa bergaris tengah besar pada lengkungan horisontal, pancang-pancang dapat ditempatkan untuk masing-masing panjang pipa misalnya 6 atau 8 ft.

Pada permukaan keras di mana pancang tak dapat ditanam, titik-titik ditandai dengan cat, paku besar, pemantul (kaleng tutup dengan paku menembusnya), lubang bor, atau cara lain. Seorang juru-ukur harus tahu sebelumnya kira-kira berapa banyak material yang akan ditimbun, di sebelah mana galian, dan mengatur pancang simpangan sesuai dengan keadaan.

Gambar 24-3 menunjukkan susunan *papan pancang* (batter boards) untuk sebuah saluran pembuangan air. Papan ini biasanya berukuran 1 X 6 in dipaku pada tiang-tiang 2 X 4 in yang dibuat lancip dan ditancapkan di tanah pada kedua sisi galian. Bagian atas

Gambar 24-3. Papan pancang untuk saluran pembuangan air limbah.



papan pancang biasanya ditempatkan pada sebuah angka feet bulat di atas lantai dasar (garis alir atau permukaan dalam bawah) pipa. Paku dipasang di bagian atas papan sehingga dapat direntangkan benang dengan tegang yang akan menentukan sumbu pipa. Sebuah anjir dengan pembagian skala atau rambu khusus dipakai untuk mengukur jarak yang diperlukan dari benang ke bidang dasar pipa. Jadi garis (benang0 itu menunjukkan baik garis maupun tanjakan. Benang dapat dibuat tetap tegang dengan menggantungkan bandul pada kedua ujungnya setelah dibelitkan ke paku-paku tadi.

Dalam Gambar 24-3, sebagai pengganti papan pancang tetap, sebuah papan 2 × 4 dengan tabung nivo dapat ditempatkan di bagian atas pancang garis-simpangan yang elevasinya diketahui. Pengukuran dilakukan dari bidang bawah papan 2 × 4 mendatar dengan pita ukur atau anjir berpembagian skala untuk menetapkan garis aliran.

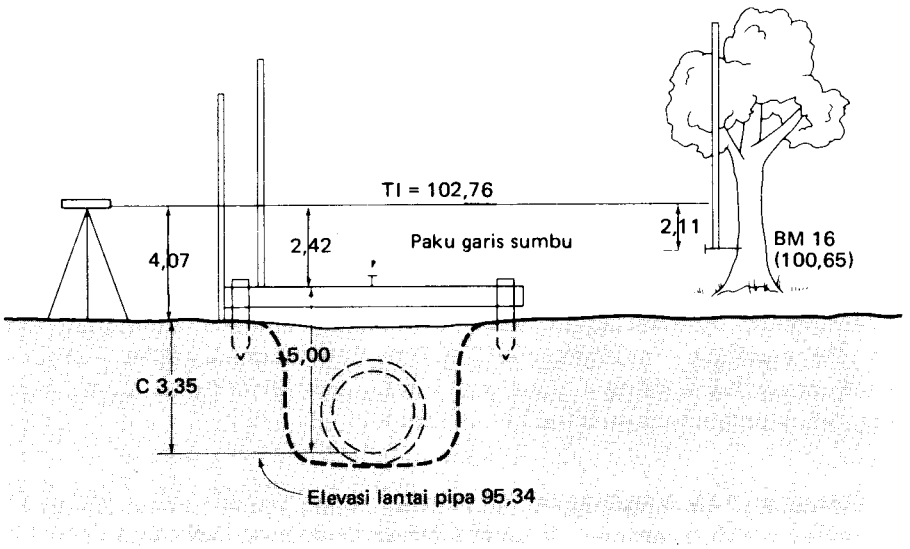
Pada beberapa pekerjaan yang mempunyai galian lebar dan dalam, sebuah alat sipat datar atau instrumen laser dipasang dalam parit untuk menghasilkan garis dan tanjakan. Jika pipa cukup besar, alat laser dapat ditempatkan di dalamnya.

Memakai profil seperti pada Gambar 7-8, tanjakan untuk parit dirancang untuk menghindari galian dan timbunan yang berlebihan, dan untuk memungkinkan hubungan dengan fasilitas lain.

24-5. PEMANCANGAN TANJAKAN (GRADIEN) JALUR PIPA. Pemancangan tanjakan jalur pipa pada dasarnya adalah kebalikan pelaksanaan pembuatan profil (irisan), walaupun dalam kedua pekerjaan sumbu harus ditandai lebih dahulu dan ditentukan titiknya dalam lokasi horisontal. Pembuatan profil dan pemancangan yang sebenarnya terjadi pada sebuah garis simpangan (offset line).

Keterangan yang disampaikan kepada pemborong mengenai pancang untuk meletakkal jalur pipa biasanya terdiri atas dua bagian: (1) menjelaskan jumlah galian (atau timbunan), biasanya hanya sampai 0,1 ft terdekat, untuk membuat penggalian parit secara kasar; dan (2) menyediakan informasi tanjakan yang saksama, pada umumnya sampai 0,01 ft terdekat untuk memberi pedoman penempatan dasar pipa sebenarnya, pada elevasi yang direncanakan. Harga-harga penggalian (atau timbunan) untuk bagian pertama adalah jarak-jarak vertikal dari elevasi tanah pada pancang simpangan ke dasar pipa. Setelah garis tanjakan pipa dihitung dan garis simpangan dibuat, timbunan (atau galian) dapat ditentukan dengan proses sipat datar seperti digambarkan pada Gambar 24-4 dan pada catatan lapangan yang bersangkutan dalam Gambar D-12, dan diringkas sebagai berikut:

1. Stasiun-stasiun yang dipancangi pada jalur pipa ditulis dalam kolom 1 catatan lapangan.
2. Hitunglah garis aliran atau elevasi lantai pipa di masing-masing stasiun (kolom 6).
3. Pasanglah alat sipat datar dan dapatkan sebuah TI dengan membaca bidikan plus pada sebuah BM (titik tetap duga); contoh HI (TI) = 2,11 + 100,65 = 102,76 (lihat Gambar 24-4).
4. Elevasi di masing-masing stasiun diperoleh dari sebuah pembacaan rambu di tanah pada tiap pancang (kolom 4) – misalnya 4,07 di stasiun 1 + 00 (lihat Gambar 24-4) – dan mengurangkannya dari TI (kolom 5); contoh, 102,76 – 4,07 = 98,69 di stasiun 1 + 00.
5. Elevasi tanah dikurangi elevasi pipa sama dengan galian (+) atau timbunan (–) (kolom 7); contoh, 98,69 – 95,34 = C 3,35 (lihat Gambar 24-4). (C = galian).
6. Galian atau timbunan ditandai dengan ujung unting-unting pada sebuah pancang simpangan yang menghadap ke sumbu; nomor stasiun ditulis di sisi lain.



Gambar 24-4. Proses sipat datar untuk menentukan galian atau timbunan dan memasang papan pancang pemasangan jalur pipa.

Dalam keragaman lain, yang memberikan hasil sama, pembacaan *rambu tanjakan* (grade rod) (selisih antara TI dan lantai dasar pipa) dihitung, dan *pembacaan rambu tanah* (pembacaan dengan rambu dipegang pada pancang) dikurangkan dari padanya untuk memperoleh galian atau timbunan. Untuk stasiun 1 + 00, pembacaan rambu tanjakan = 102,76 – 95,34 = 7,42 dan 7,42 – 4,07 = C 3,35. (galian)

Setelah parit digali berdasarkan galian dan timbunan yang tandanya ada pada pancang, papan pancang dipasang. Tanda-tanda yang diperlukan untuk menempatkannya dapat dibuat dengan pensil pada pancang simpangan selama pelaksanaan sipat datar yang sama, dipakai untuk memperoleh keterangan tentang galian dan timbunan. Gambar 24-4 juga menjelaskan prosesnya. Misalkan di stasiun 1 + 00, papan pancang akan dipasang sehingga bagian atasnya tepat 5,00 ft di atas lantai dasar pipa. Pembacaan rambu yang perlu untuk memasang papan pancang diperoleh dengan mengurangkan elevasi lantai dasar pipa ditambah 5,00 ft dari TI; jadi, 102,76 – (95,34 + 5,00) = 2,42 ft (lihat Gambar 24-4). Rambu dipegang pada pancang dan secara vertikal diatur kedudukannya atas perintah dari pemegang alat sipat datar sehingga pembacaan rambu 2,42 ft diperoleh; kemudian suatu tanda dibuat pada dasar rambu di permukaan pancang. (Untuk memudahkan proses ini sebuah sasaran rambu atau karet gelang berwarna dapat ditempatkan di rambu pada pembacaan yang diperlukan). Kemudian papan dilekatkan ke pancang dengan bagian atasnya tepat pada tanda, memakai paku atau penjepit jenis-C dan alat sipat datar tukang kayu dipakai untuk mengadakan pendataran menyeberang galian parit. Sebuah paku menandai sumbu pipa dipasang dengan pengukuran jarak simpangan pancang sepanjang papan.

Memancang garis dengan tanjakan $\frac{1}{2}$ atau 1% itu mudah. Karena faktor pengali jarak optis biasanya 100, garis bidik lewat benang tengah dan atas, atau tengah dengan beda pada alat sipat datar, teodolit kompas atau teodolit berselisih sebesar $\frac{1}{2}$ ft dalam 100 menjadikan sebuah gradien sebesar $\frac{1}{2}$%. Antara benang atas dan bawah ada gradien 1% dapat dimanfaatkan bila beberapa papan pancang dipasang berturut-turut pada ketinggian sama di atas lantai dasar pipa. Dengan instrumen ditempatkan pada garis simpangan dan pancang pertama dipasang seperti baru dijelaskan. Kemudian benang bawah membuat gradien $-\frac{1}{2}$%. Dengan memutar sekrup penyetel untuk menepatkan benang atas pada

bacaan rambu untuk pancang pertama, benang bawah tepat pada gradien –1%. Kemudian pancang berturut-turut dapat dipasang memakai pembacaan rambu yang sama dengan pada pancang pertama pada benang yang sedang dipakai.

Pengukuran naik dan turun lereng gunung dapat makan banyak waktu dan biaya, sehingga seringkali sebuah metode "bidang miring" mirip dengan yang baru dibicarakan tadi dapat dipakai. Prosedur ini juga dapat diterapkan untuk perencanaan halaman parkir miring. Sebuah teodolit kompas atau teodolit dipasang dengan t.i. sebuah angka bulat (feet) di atas pancang tanjakan, dengan dua dari keempat sekrup penyetel sejajar dengan garis gradien (sebuah sekrup pada garis dan kedua lainnya tegak lurus padanya bila dipakai instrumen dengan tiga sekrup penyetel). Pada lingkaran vertikal dibuat pembacaan 0°00′ dan dipertahankan. Memakai sekrup paralel, garis bidik dimiringkan untuk menghasilkan gradien yang diperlukan – misalnya turun 2,00 ft tiap 100 ft untuk gradien –2%. Dengan cara sama, menggunakan sekrup melintang garis bidik dapat dimiringkan untuk memasang pancang gradien pada sebuah garis tegak lurus sumbu.

24-6. PEMANCANGAN BANGUNAN (GEDUNG). Tugas pertama dalam pemancangan sebuah gedung adalah menentukan lokasinya dengan benar pada kaplingnya dengan jalan mengadakan pengukuran dari garis-garis batas pemilikan. Kebanyakan kota mempunyai peraturan tentang garis sempadan bangunan dari jalan dan antara rumah-rumah untuk memperbaiki penampilan dan menyediakan lindungan bahaya kebakaran.

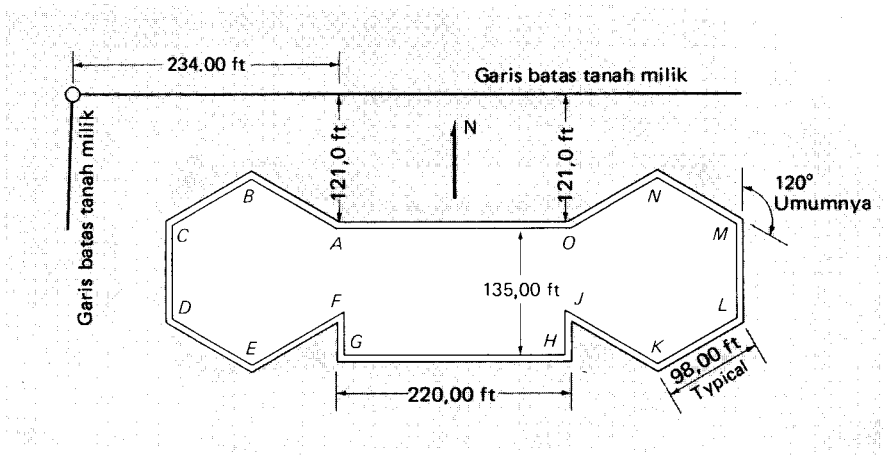
Pancang dapat dipasang pada awalnya tepat di titik sudut bangunan gedung sebagai pengecekan visual dalam menentukan posisi struktur, tetapi jelas bahwa titik-titik demikian akan hilang dengan segera bila penggalian fondasi dimulai. Karenanya serangkaian papan pancang dan pancang acuan, ditempatkan seperti pada Gambar D-11, didirikan dekat masing-masing titik sudut tetapi tidak menghalangi konstruksi. Papan-papan dipaku setinggi angka bulat dalam feet di atas basis kaki atau elevasi lantai pertama. Pancang titik sudut dan titik papan pancang untuk gedung empat persegi panjang dicek dengan pengukuran diagonal untuk perbandingan satu sama lain dan harga-harga terhitungnya. Sebuah titik tetap duga (dua atau lebih pada proyek-proyek besar) di luar wilayah konstruksi tetapi dalam batas jarak cukup dekat dilihat adalah perlu untuk mengatur elevasi.

Bagian atas papan pancang dipaku hingga dapat direntangkan benang dengan tegang di antaranya sebagai pembatasan dinding luar atau garis bentuk bangunan. Demikian pula, papan pancang menghasilkan garis dan gradien.

Bidikan depan permanen berguna untuk penetapan garis-garis utama pada struktur. Sasaran tanda-tanda pada gedung yang ada di dekatnya dapat dipakai bila gerakan karena pengaruh suhu atau lendutan pampat (settlement) dianggap dapat diabaikan. Pada struktur beton yang telah terbentuk misalnya dinding-dinding yang tetap dipertahankan, garis simpangan perlu dibuat karena dinding luar terhalang permukaannya.

Gambar D-11 menunjukkan lokasi papan pancang dan langkah-langkah untuk diikuti dalam pemasangannya untuk sebuah struktur kecil. Kedudukan-kedudukan benda-benda seperti fondasi sebelah dalam, baut angker untuk kolom-kolom dan perpipaan khusus atau peralatan khusus lebih dulu dapat ditandai dengan 2 X 2 in pada pancang memakai paku jamur. Piringan ukur tanah, goresan pada baut atau permukaan beton atau paku baja juga dipakai. Papan pancang di sebelah dalam ukuran gedung untuk dasar kolom harus dihilangkan sewaktu konstruksi kemudian berkembang.

Pemancangan sebuah bangunan gedung dapat makan waktu lama dan prosesnya berkepanjangan jika juru-ukur tidak memperhatikan pemikiran dini kepada titik kontrol dasar yang diperlukan dan cara terbaik untuk menetapkannya. Jumlah pemasangan instrumen harus dibuat minimum agar menghemat waktu, dan sedapat mungkin hitungan-hitungan dikerjakan di kantor agar tidak terjadi di lapangan sementara regu pengukuran menunggu.



Gambar 24-5. Rancangan bangunan gedung.

Sebuah cara untuk menangani pekerjaan yang sulit adalah dengan jalan memancang semua (atau banyak) titik dari sebuah pemasangan instrumen tunggal memakai sudut-sudut dan jarak yang telah dihitung sebelumnya. Gambar 24-5 menunjukkan sebuah bentuk bangunan gedung yang luar biasa yang dirancang dengan cepat hanya dengan dua pemasangan dengan jalan memilih sebuah pemasangan awal yang menjangkau setengah dari semua titik sudut, dan mempunyai sudut dan jarak terhitung yang sama untuk kedua ujung struktur. (Gambar 24-6). Dalam memakai cara ini penting sekali untuk mengadakan pengecekan yang cukup terhadap ukuran-ukuran gedung memakai pita ukur atau EDMI setelah memberi tanda titik-titik sudut untuk menjamin agar tak ada galat besar atau kesalahan dibuat.

24-7. PEMANCANGAN JALAN RAYA. Setelah titik kontrol yang cocok ditetapkan, batas-batas wilayah konstruksi dipancang agar pemborong dapat membersihkannya. Berikutnya, beberapa pemborong menginginkan ada titik-titik dipasang pada hak-memakai dengan elevasi-elevasi tanah-bawah-jalan (subgrade) yang menunjukkan galian atau timbunan sampai elevasi tertentu untuk dipakai dalam pelaksanaan perataan kasar dan penggalian awal material kelebihan. Pancang-pancang lokasi kemudian ditempatkan pada sumbu atau sebuah garis simpangan pada stasiun-stasiun angka bulat, awal-awal dan ujung-ujung akhir lengkungan horisontal dan vertikal, serta pada titik-titik kritis lainnya. Sebuah pengukuran sipat datar profil sepanjang sumbu menentukan elevasi tiap pancang.

Untuk pedoman kontraktor (pemborong) dalam membuat galian dan tanggul akhir, dipancangkan *pancang lereng* pada *perpotongan lereng* (perpotongan tanah asli dan tiap lereng samping) atau simpangan pendek, mungkin 4 ft, Gambar 24-7. Galian atau timbunan di tiap lokasi ditandai pada pancang lereng. Perhatikan bahwa sebenarnya *tidak* ada galian atau timbunan di sebuah pancang lereng – angka yang diberikan adalah jarak vertikal dari elevasi tanah di pancang lereng ke gradien (tanjakan).

Pancang-pancang lereng dapat dipasang pada lokasi-lokasi perpotongan lereng yang ditentukan lebih dahulu di kantor, dari data tampang. (Metode untuk menentukan perpotongan lereng dari tampang dibicarakan dalam Bab 27). Jika digunakan perpotongan lereng yang ditentukan lebih dulu, elevasi tanah di tiap pancang masih harus dicek di lapangan untuk membuktikan kesesuaiannya dengan tampang. Jika ada ketidakcocokan yang berarti dalam elevasi, kedudukan pancang harus diatur dengan coba-coba seperti dijelaskan di

RANCANGAN GEDUNG

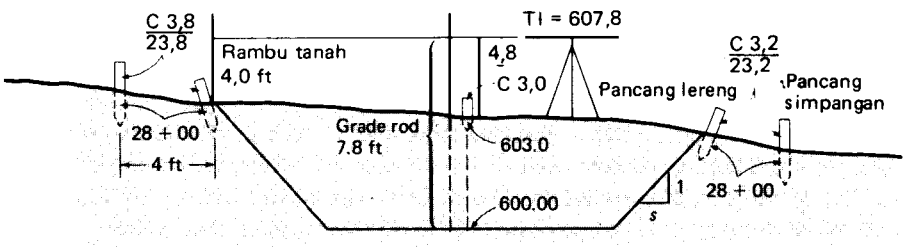
Stasiun	Sudut	Ke	Jarak
	⊼ @ Titik *A*		
O	0°00′	Kanan	220.00 ft
F	90°00′	Kanan	98.00 ft
G	90°00′	Kanan	135.00 ft
E	120°00′	Kanan	169.74 ft
D	150°00′	Kanan	196.00 ft
C	180°00′	Kanan	169.74 ft
B	210°00′	Kanan	98.00 ft
	@ Titik *O*		
A	0°00′	Kiri	220.00 ft
J	90°00′	Kiri	98.00 ft
H	90°00′	Kiri	135.00 ft
K	120°00′	Kiri	169.74 ft
L	150°00′	Kiri	196.00 ft
M	180°00′	Kiri	169.74 ft
N	210°00′	Kiri	98.00 ft

Gambar 24-6. Sudut dan jarak yang telah dihitung lebih dulu untuk pemancangan bangunan gedung.

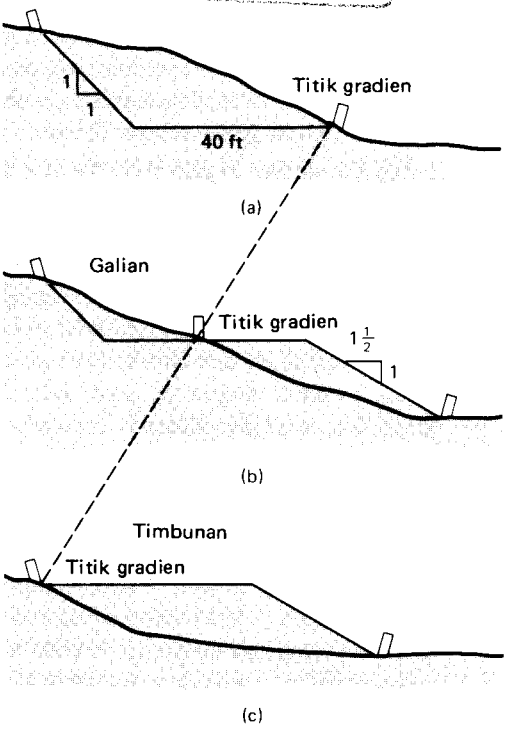
bawah ini. Jumlah galian dan timbunan yang ditandai pada pancang dihitung dari selisih sebenarnya dalam elevasi antara elevasi tanah pancang lereng dan elevasi tanjakan.

Jika perpotongan lereng belum dihitung lebih dulu dari data tampang, pancang lereng ditentukan lokasinya dengan metode coba-coba berdasarkan hitungan luar kepala yang melibatkan TI, pembacaan rambu gradien, pembacaan rambu tanah, lebar setengah-jalan, dan lereng samping. Sekali atau duakali percobaan biasanya cukup untuk menentukan kedudukan pancang dalam batas toleransi 0,3 sampai 0,5 ft untuk gradien kasar. Bentuk tanah yang tak terbatas ragamnya menyebabkan tak dapat dipakainya sebuah rumus baku dalam pemancangan lereng. Seorang juru-ukur yang berpengalaman hanya menggunakan hitungan luar kepala, tanpa secarik kertas atau kalkulator. Apakah memakai metode yang akan dijelaskan, atau yang lain, prosedur sistematik harus diikuti untuk menghindari kebingungan dan kesalahan.

Gambar 24-7. Pancang lereng (tanggul dan parit tak ditunjukkan).



	Sta.	L	CL	R
(a)	61 + 20	$\frac{C\ 8,2}{28,2}$	C 3,9	$\frac{C\ 0,0}{20,0}$
(b)	61 + 70	$\frac{C\ 4,0}{24,0}$	C 0,0	$\frac{F\ 6,4}{29,6}$
(c)	61 + 95	$\frac{C\ 0,0}{20,0}$	F 3,3	$\frac{F\ 5,7}{28,5}$



Gambar 24-8. Titik-titik gradien pada irisan-irisan perubahan.

Pancang gradien dipasang pada titik-titik yang mempunyai elevasi tanah dan elevasi gradien yang sama. Biasanya terjadi tiga irisan peralihan dalam peralihan dari galian ke timbunan (atau sebaliknya), dan sebuah pancang dipasang pada masing-masing peralihan (lihat Gambar 24-8 dan 27-1). Sebuah garis yang menghubungkan pancang-pancang gradien, barangkali digoreskan di tanah, menentukan perubahan dari galian ke timbunan, seperti garis *ABC* pada Gambar 27-1.

Contoh 24-1 menyebutkan langkah-langkah yang diambil dalam pemancangan lereng secara berurutan, dengan *anggapan keadaannya sederhana dan secara teoritis sebuah jalan yang datar.* Dalam praktek, jalur yang dilewati dan tanggul jalan modern mempunyai lereng ke samping untuk pengaliran air, kemudian lereng yang lebih curam sampai ke parit pada galian, dan lereng lain menaiki lereng bukit ke perpotongan lereng. Irisan perubahan bisa mempunyai lebar setengah-jalan galian berbeda dengan pada timbunan untuk memberi tempat pada parit, dan lereng samping yang lebih landai untuk timbunan yang cenderung kurang stabil daripada galian. Tetapi langkah-langkah dasar yang sama masih berlaku dan dapat dikembangkan oleh para mahasiswa setelah mempelajari pendekatan dasar.

CONTOH 24-1

Sebutkan prosedur-prosedur lapangan, termasuk hitungan-hitungan, yang perlu untuk memasang pancang-pancang lereng untuk sebuah badan jalan rata lebar 40 ft dengan lereng samping 1:1 dalam galian dan timbunan (lihat Gambar 24-7 dan 24-8).

1. Hitunglah galian pada pancang sumbu dari elevasi profil dan gradien (603,0 – 600,0 = C 3,0 dalam Gambar 24-7). Agar dicek di lapangan dengan pembacaan rambu gradien dikurangi pembacaan rambu tanah = 7,8 – 4,8 = C 3,0 ft. Tandai-

lah pada pancang C 3,0/0,0. (Pada beberapa pekerjaan pancang tengah dihilangkan dan pancang hanya dipasamg pada perpotongan lereng).

2. Taksirlah selisih elevasi antara titik pancang-lereng sisi kiri (20 + ft ke luar) dan pancang tengah. Pakailah selisih itu – misalnya +0,5 ft – pada galian pusat dan diperoleh taksiran galian sebesar 3,5 ft.
3. Hitunglah di luar kepala jarak ke luar ke pancang lereng, 20 + 1(3,5) = 23,5 ft, di mana 1 adalah lereng samping.
4. Peganglah ujung nol pada pita ukur pada pancang tengah sementara petugas rambu berjalan pada arah tegaklurus (dengan bantuan prisma atau metode lengan terentang) terhadap ujung lain dan memegang rambu pada jarak 23,5 ft.
5. *Lupakan semua hitungan sebelumnya untuk menghindari kebingungan karena terlalu banyak angka dan diingat saja nilai pembacaan rambu gradien.*
6. Bacalah rambu dengan alat sipat datar dan dapatkan galian dari pembacaan rambu gradien dikurangi pembacaan rambu tanah, barangkali 7,8 – 4,0 = C 3,8 ft (C = cut = galian).
7. Hitung jarak ke luar yang diperlukan dari galian ini, 20 + 1(3,8) = 23,8 ft.
8. Lihatlah pada pita ukur untuk mengetahui berapa yang sebenarnya sedang dipegang dan dapatkan harganya adalah 23,5 ft.
9. Jaraknya adalah dalam batas beberapa persepuluh foot dan cukup dekat. Bergeraklah ke 23,8 ft bila tanahnya dasar dan pasanglah pancangnya. Bergeraklah lebih jauh bila tanahnya menanjak, karena akan dihasilkan galian yang lebih besar jadi pancang lereng harus dipasang lebih jauh daripada jarak terhitung, atau tak begitu jauh bila tanah mulai menurun yang menghasilkan galian lebih kecil.
10. Jika jaraknya meleset terlalu besar, buatlah taksiran galian yang lebih baik, hitunglah sebuah jarak ke luar baru, dan ambillah sebuah pembacaan untuk mengulangi prosedurnya.
11. Dalam bergerak ke luar pada sisi lain, petugas rambu mengambil sipatan lurus pancang tengah dan pancang lereng sebelah kiri untuk memperoleh arah tegak lurusnya.
12. Untuk menentukan lokasi pancang-pancang gradien pada pinggir jalan, satu orang membawa ujung nol pita ukur sepanjang sumbu sementara petugas rambu berjalan sejajar membawa (memegang) tanda 20 ft sampai pembacaan rambu tanah yang diperlukan dapat diperoleh dengan coba-coba. Perhatikan bahwa pembacaan rambu gradien berubah selama gerakan tetapi dapat dihitung pada interval (selang) 5 atau 10 ft. Pencatat harus menuliskan pembacaan rambu gradien dalam buku lapangan untuk acuan cepat pada stasiun-stasiun angka bulat dan titik-titik lain di mana pancang-pancang lereng akan dipasang.
13. Titik-titik gradien pada sumbu ditentukan lokasinya memakai sebuah dugaan awal dengan jalan membandingkan galian dan timbunan pada stasiun-stasiun belakang dan depan.

Praktek yang berbeda dilakukan oleh berbagai organisasi, tetapi sering pancang lereng dipasang 4 ft setelah perpotongan lereng. Pancang ditandai dengan galian dan timbunan yang diperlukan, jarak ke luar dari sumbu ke titik pancang lereng, perbandingan lereng samping, dan setengah lebar basis ditulis pada bidang menghadap ke sumbu. Penempatan stasiun ditulis pada sisi belakang. Sebuah pancang acuan yang ditulisi keterangan sama dapat pula ditempatkan 6 ft atau lebih jauh, menghindari penggusuran dan perataan tanah. Pada irisan perubahan, titik-titik pancang gradien diberi tanda.

Pemancangan lereng memakai sebuah EDMI dan sudut vertikal sekarang sedang dilaksanakan, karena jarak lereng ke sebuah pancang mudah diukur. Teodolit yang digabung dengan EDMI, dan instrumen stasiun-kotah yang secara otomatis mereduksi jarak miring

terukur menjadi komponen horisontal dan vertikal, sangat mempercepat pemancangan lereng. Alat-alat ini terutama sangat bermanfaat di tanah bergunung di mana elevasi perpotongan lereng berbeda jauh dengan gradien sumbu. Prosedur pemancangan memakai alat-alat ini dibicarakan dengan singkat dalam Paragraf 24-2.

Pemancangan lereng harus dikerjakan dengan sangat cermat, karena sekali pembuatan tanggul galian dan timbunan dimulai, sulit dan mahal untuk mengubah bentuknya jika diketemukan kesalahan.

Setelah perataan kasar membentuk galian dan penimbunan sampai hampir selesainya elevasi akhir, gradien yang telah diselesaikan dipancang lebih teliti dari "blue tops" (pancang yang puncaknya ditandai unting-unting biru dan dipasang untuk elevasi gradien). Biasanya ini bukan simpangan, tetapi dipasang langsung pada sumbu. Seutas benang direntangkan tegang lewat takik pada blue tops dapat merupakan alat pengawas teliti pada perataan tanah.

Gradien jalan raya dan jalan baja seringkali dapat dibulatkan menjadi kelipatan 0,05 atau 0,10% tanpa pemingkatan biaya pekerjaan tanah yang berarti atau mengorbankan pembuangan air (drainage) yang baik. Jalan-jalan memerlukan minimum gradien 0,05% untuk pembuangan air dari persimpangan ke persimpangan, atau dari tengah blok dua arah ke sudut-sudut, dan peninggian bagian tengah untuk aliran ke samping menuju parit.

Profil pembuangan air, dibuat untuk membuktikan atau membentuk tampang (irisan melintang), dapat dipakai untuk menentukan lokasi secara teliti struktur dan hak memakai pembuangan air. Seorang insinyur yang berpengalaman, sewaktu ditanyai tentang tiga hal paling penting dalam pekerjaan jalan raya, menjawab "drainage (pembuangan air), pembuangan air, dan pembuangan air"! Persyaratan ini harus dipenuhi dengan rancangan dan pengukuran yang baik.

Penentuan kembali lokasi utilitas mungkin perlu pengukuran dalam kaitannya dengan pembangunan jalan raya; sebagai contoh, lubang pengawasan atau tutup kotak-katup harus dipasang pada tanjakan yang benar sebelum pekerjaan tanah mulai untuk menyesuaikan gradien sumbu yang selesai dan beda elevasi akibat lereng permukaan melintang. Penentuan lokasi ini dengan stasiun sumbu dan jarak simpangan.

Sebuah regu lapangan terdiri dari tiga orang dapat menangani kebanyakan pekerjaan pemancangan konstruksi. Gradien dan hitungan-hitungan lain harus disiapkan di kantor, sebelumnya bila mungkin, untuk menghemat waktu lapangan dan biaya yang lebih besar.

Pemancangan lokasi untuk jalan baja dan saluran mengikuti cara-cara yang dijelaskan garis besarnya untuk jalan raya.

24-8. PENGUKURAN KONSTRUKSI LAINNYA. Pengukuran hidrografik untuk lintasan lewat perairan, jembatan, dan anjungan minyak lepas pantai menambah masalah penetapan titik dan kedalaman di mana mungkin sulit atau tak mungkin memegang rambu atau pemantul. Triangulasi, trilaterasi, EDMI dan alat pemetaan sonar dipakai untuk menentukan tampang pengerukan dalam penggalian parit bawah air dan pemasangan pipa. Dewasa ini lebih banyak jalur pipa menyeberangi sungai yang lebih lebar daripada sebelumnya. Proyek-proyek jalur pipa raksasa sekarang sedang berjalan untuk mengangkut minyak mentah, gas alam dan air, telah menyajikan banyak masalah dan pemecahan baru. Tanah beku, suhu amat rendah, perlunya menyediakan tempat penyeberangan binatang adalah contoh-contoh masalah khusus yang dijumpai dalam program Alaska.

Proyek-proyek pekerjaan tanah yang besar – bendungan, tanggul, dan jalan raya cepat – memerlukan titik kontrol yang permanen dan tersebar luas untuk pemasangan cepat dan penggantian pancang lereng yang sering terjadi, yang semuanya dapat lenyap karena timbunan dalam sehari. Tengara-tengara tetap untuk elevasi dan pelurusan yang dicatkan atau dipasang pada dinding jurang atau lereng bukit dapat merupakan garis-garis acuan yang

penting. Gagalnya beberapa bangunan besar seperti Bandungan Teton, menunjukkan perlunya ada pemantauan secara periodik sehingga dapat dikerjakan perbaikan yang perlu.

Pengukuran bawah tanah dalam terowongan dan tambang memerlukan pemindahan garis dan elevasi dari tanah di atas, sering menuruni lubang tegak. Arah garis dalam terowongan tambang paling mudah dapat ditetapkan memakai giro pencari-utara (lihat Paragraf 19-1). Dalam cara lain, dan masih merupakan cara yang dipraktekkan, dua buah bandul unting-unting yang berat digantung dengan kawat (dan diredam dalam minyak atau air) dari sisi berlawanan lubang permukaan dapat diluruskan dengan teodolit di permukaan dan di dalam terowongan. (Sebuah kolimator vertikal juga akan menghasilkan dua titik segaris di bawah tanah). Sebuah teodolit atau laser dipasang pada garis pendek yang terbentuk oleh dua kawat unting-unting, sebuah tanda stasiun dipasang di atas instrumen, dan garisnya diperpanjang. Pemasangan kemudian dibuat di bawah *paku ukur* yang dipakukan pada atap. Elevasi dibawa turun dengan pengukuran pita atau cara lain. Titik-titik tetap duga dan stasiun instrumen dipasang pada atap (bagian atas terowongan), tidak menggganggu peralatan.

Pengukuran dilaksanakan pada selang-selang (interval) pada semua pekerjaan besar untuk mengecek kemajuan dan untuk pembayaran bertahap kepada pemborong. Dan akhirnya, sebuah pengukuran purna-rancang dilaksanakan untuk menentukan ketaatan terhadap rencana, perubahan catatan, dan membuat pembayaran akhir kontrak.

24-9. SUMBER-SUMBER GALAT. Sumber-sumber galat yang penting dalam pengukuran untuk konstruksi adalah:

1. Jumlah titik kontrol dan/atau lokasinya yang tidak mencukupi pada lokasi pekerjaan.
2. Galat-galat dalam penetapan titik kontrol.
3. Galat-galat pengukuran dalam perancangan.
4. Kelalaian membuat dua kedudukan dalam pemasangan sudut.
5. Kelalaian mengacukan titik-titik penting.
6. Berpindahnya pancang dan tanda-tanda.
7. Kelalaian memakai paku payung untuk garis yang benar bila diperlukan.

24-10. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Kesalahan-kesalahan khas yang sering dibuat dalam pengukuran untuk konstruksi adalah:

1. Kurangnya perkiraan sebelumnya di mana konstruksi akan merusak titik.
2. Notasi untuk galian (atau timbunan) dan penentuan stasiun pada pancang tidak dicek.
3. Datum yang salah untuk galian, apakah galian terhadap gradien akhir atau dasar tanah asli.
4. Kesalahan hitungan, biasanya karena kurangnya pengecekan.
5. Pemakaian elevasi, gradien dan stasiun yang tidak benar.
6. Kelalaian tidak mengecek diagonal sebuah gedung.
7. Mempertahankan harga terhitung melebihi ketelitian lapangan yang memungkinkan (seperseratus yang baik sama harganya dengan semua perseribuan yang buruk).
8. Pembacaan rambu pada puncak pancang yang mestinya pada tanah di sampingnya, dalam pemancangan lereng dan pembuatan profil.
9. Kelalaian menghitung gradien titik tengah dengan kenaikan berturutan sehingga bila ada galat menjadi jelas jika elevasi gradien terakhir tidak cocok.

SOAL-SOAL

24-1. Jelaskan secara umum, tanpa membicarakan proyek tertentu, pekerjaan pengukuran yang biasanya harus dilaksanakan dalam industri konstruksi.

24-2. Tulislah jenis-jenis proyek konstruksi di mana instrumen sinar laser-nampak, berguna untuk pemancangan.

24-3. Uraikan bagaimana garis dan gradien dapat dipasang dengan sebuah instrumen stasiun-kotah yang dioperasikan dalam cara "pelacakan".

24-4. Derajat titik kontrol horisontal dan vertikal manakah harus dipakai untuk konstruksi (a) jalur air, (b) jalur pembuangan air limbah dan (c) jembatan rentang-panjang?

24-5. Berapa jauh terpisah pancang harus dipasang pada pekerjaan pembuangan air limbah yang mempunyai (a) gradien nisbi rata (datar), (b) gradien curam, (c) lengkungan tajam?

24-6. Sebutkan dua syarat bertentangan yang ada dalam keputusan bagaimana jauhnya pancang simpangan harus dipasang di luar garis konstruksi.

24-7. Sebuah pipa pembuangan air limbah akan dipasang dari stasiun 10 + 00 ke stasiun 13 + 35 pada tanjakan − 0,70%, mulai dengan elevasi dasar pipa 825,30 ft pada 10 + 00. Hitunglah elevasi-lantai dasar pipa pada tiap 50-ft stasiun sepanjang jalur dan elevasi lantai dasar pipa pada stasiun 13 + 35.

24-8. Sebuah pipa pembuangan air limbah harus dipasang dari titik awal elevasi lantai dasar 1575,75 ft pada stasun 9 + 50 sampai pada elevasi lantai pipa ujung 1569,10 ft pada stasiun 13 + 80. Tentukan gradien seragam yang diperlukan, dan hitunglah elevasi lantai dasar pada tiap stasiun 50 ft.

24-9. Pancang gradien untuk jalur pipa yang dipasang antara stasiun 0 + 00 dan 5 + 64 akan dipasang pada tiap stasiun angka bulat. Elevasi lantai dasar pipa harus 1168,50 ft pada stasiun 0 + 00 dan 1162,30 ft pada 5 + 64, dengan gradien seragam di antaranya. Setelah pemancangan sebuah sumbu simpangan, sebuah instrumen dipasang di dekatnya, dan diambil bidikan belakang 3,06 pada BMA (elevasi 1173,25 ft). Bidikan depan berikut ini diambil dengan rambu dipegang di tanah pada masing-masing pancang: (0 + 00, 3,51); (1 + 00, 3,67); (2 + 00, 4,03); (3 + 00, 5,16); (4 + 00, 5,92); (5 + 00, 6,80); dan (5 + 64, 7,25). Siapkan serangkaian catatan lapangan yang sesuai untuk proyek ini (lihat Gambar D-12), dan hitung galian yang diperlukan pada masing-masing pancang. Buatlah untai tertutup sipat datar kembali ke titik tetap duga.

24-10. Jika papan pancang akan dipasang tepat 7,00 ft di atas lantai dasar pipa pada masing-masing stasiun pada proyek dalam Soal 24-9, hitunglah pembacaan rambu yang perlu untuk pemasangan papan pancang. Anggaplah instrumen mempunyai TI seperti dalam Soal 24-9.

24-11. Bagaimana gradien jalan disusun untuk pembuangan air dalam sebuah kota yang tanahnya datar?

24-12. Tulislah hal-hal paling penting dipertimbangkan dalam pemasangan garis gradien pada sebuah profil tanah.

24-13. Jelaskan keadaan di mana papan pancang dapat ditempatkan di dalam gedung.

24-14. Dengan sebuah sketsa, tunjukkan bagaimana dan di mana papan pancang harus ditempatkan untuk sebuah gedung berbentuk I. Demikian pula untuk sebuah struktur berbentuk E.

24-15. Sebuah gedung berbentuk L harus dipancang. Sudut-sudut gedung *ABCDEF* semua mempunyai sudut 90°. Berlangsung memutar searah jarum jam mengelilingi gedung, ukuran luar yang diperlukan adalah AB = 80,00 ft, BC = 40,00 ft, CD = 30,00 ft, DE = 30,00 ft, EF = 50,00 ft, dan FA = 70,00 ft. Setelah pemancangan papan pancang untuk gedung ini dan rentangan tali tegang, harus dikerjakan pengukuran pengecekan diagonal harus dilakukan. Berapa harga seharusnya AC, AD, AE, FB, FC, FD dan BD?

24-16. Elevasi lantai rencana untuk sebuah gedung yang akan dibangun adalah 975,50 ft. Sebuah instrumen dipasang di dekatnya, diatur, dan sebuah bidikan belakang 4,62

diambil pada BMA yang elevasinya 974,89 ft. Jika papan pancang ditempatkan tepat 1,00 ft di atas elevasi lantai, berapa pembacaan rambu diperlukan pada puncak papan pancang untuk memasangnya dengan benar.

24-17. Uraikan dua cara atau lebih untuk meredakan ayunan garis bandul unting-unting yang tergantung beberapa lantai di luar sebuah dinding gedung.

24-18. Dapatkah sudut sebuah gedung diunting dengan mengarahkan garis vertikal teleskop teodolit kompas naik turun garis dinding? Jelaskan.

24-19. Bandingkan ketelitian yang diperlukan pada pengukuran untuk jembatan rentang-panjang dengan ketelitian untuk sebuah pengukuran hak milik biasa. Tuliskan toleransi yang cocok dalam penentuan posisi baut angker untuk jembatan.

24-20. Garis struktur gedung manakah terlihat pada peta pencatatan, garis dinding luar atau sumbu?

24-21. Uraikan garis besar cara yang cocok untuk memberikan gradien (a) sebuah halaman parkir, (b) saluran pengering beton bertulang, dan (c) dasar untuk pilar jembatan.

24-22. Jelaskan ketepatan gradien 0,00% untuk jalan atau jalan raya.

24-23. Sebuah pelurusan horisontal jalan raya dilaksanakan dengan sudut belokan. Pengaturan teodolit-kompas manakah yang paling penting untuk dicek?

24-24. Uraikan pentingnya pengikatan dan pengacuan titik-titik sumbu yang kritis pada pengukuran konstruksi jalan raya.

24-25. Jelaskan mengapa pancang lereng ditempatkan pada sebuah jarak simpangan dari perpotongan lereng. Berapa jarak simpangan yang dianjurkan?

24-26. Keterangan apakah yang biasanya diberikan pada pancang lereng?

24-27. Uraikan prosedur dan kebaikan-kebaikan pemakaian instrumen stasiun-kotah untuk pemancangan lereng.

24-28. Jelaskan prosedur lapangan dalam pemancangan lereng.

24-29. Bagaimana arah garis dan elevasi ditetapkan dalam tambang?

24-30. Peraturan apakah yang dipakai di beberapa kota mengenai tanggungjawab pemborong yang memecahkan saluran pembuangan air limbah yang ada atau saluran air sewaktu pelaksanaan konstruksi baru?

24-31. Pada proyek-proyek konstruksi di daerah Anda, siapa yang bertanggungjawab untuk dan membayar biaya pemasangan pancang-pancang titik kontrol awal dan pengukuran, pemborong atau pemilik? Untuk penggantian pancang yang tumbang?

24-32. Hitunglah luas lantai rencana gedung pada Gambar 24-5.

DAFTAR PUSTAKA

Angeloni, W.A. 1975. "Perencanaan dan Pelaksanaan Pengukuran untuk Proyek-proyek Pekerjaan Sipil." *Surveying and Mapping* 35(no. 4): 341.

Barry B.A. 1973. *Pengukuran Konstruksi,* New York: Wiley.

Greulich, G. 1978. "Utilitas Bawah Tanah." *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping,* no. 60, hal. 7.

Hole, S.W. 1979. "Jalur Pipa – Masalah-masalah Penentuan Posisi dan Pengukuran." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 105(no. SU 1): 15.

Hopper, A.G. 1982. "Teknologi Laser dan Bandul Unting-unting Terbalik." *Professional Surveyor* 2 (no. 2): 107.

Keene, D.F. 1974. "Pengukuran Saksama untuk Bendungan – Daerah Pengendalian Banjir County Los Angeles." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 100(no. SU2): 99.

Peterson, E.W., dan P. Frobenius. 1973. "Pengukuran Terowongan dan Pengendalian Mesin Penggali Terowongan." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 99(no. SU1): 21.

Posch, M. 1980. "Pekerjaan Pengukuran dalam Pembangunan Terowongan Arlberg Road." *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping* no. 69, hal. 19.

Shewmon, D.C. 1981. "Bidang Miring dalam Pengukuran Tanah," *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping,* no. 72, hal. 23.

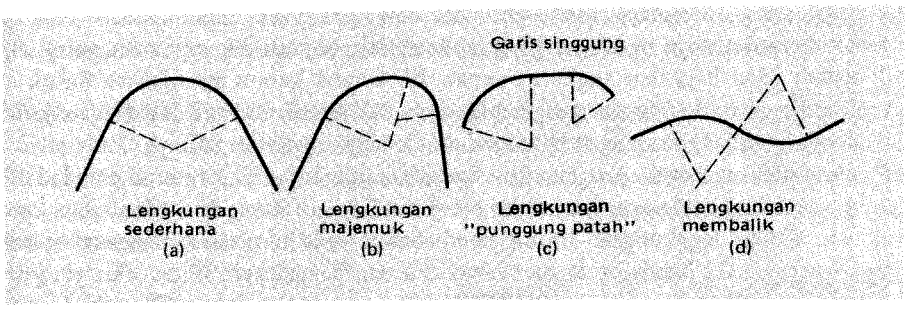
Thompson, B.J. 1974. "Perencanaan Pengukuran Terowongan yang Ekonomis." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 100(no. SU2): 95.

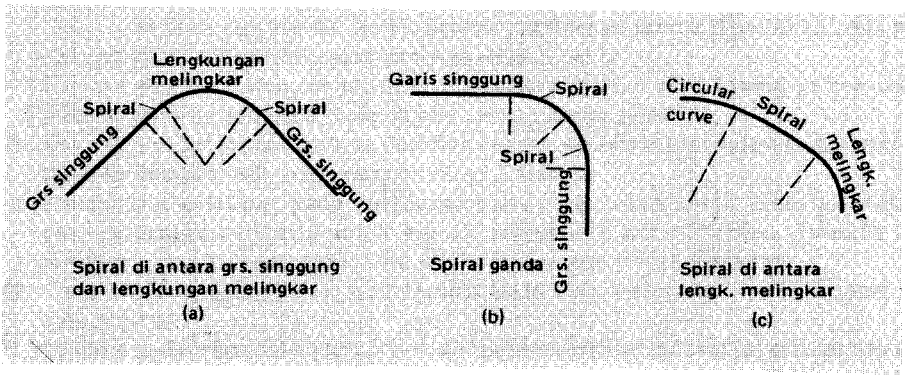
25 LENGKUNGAN MELINGKAR

25-1. PENGANTAR. Bagian-bagian lurus (tangen) kebanyakan jalur transportasi, seperti jalan raya, jalan baja, dan jalur pipa, dihubungkan dengan lengkungan baik pada bidang horisontal maupun bidang vertikal. Sebuah perkecualian adalah jalur transmisi, di mana dipakai serangkaian garis lurus dengan perubahan sudut yang mendadak pada lokasi menara, bila diperlukan.

Dua jenis lengkungan horisontal yang dipakai adalah busur lingkaran dan spiral. Keduanya mudah dipasang di lapangan dengan peralatan ukur biasa. *Lengkungan/kurva sederhana* [Gambar 25-1(a)] adalah sebuah busur lingkaran yang menghubungkan dua tangen. Jenis ini paling sering dipakai. *Lengkungan majemuk* [Gambar 25-1(b)] terdiri atas dua busur

Gambar 25-1. Lengkungan melingkar.



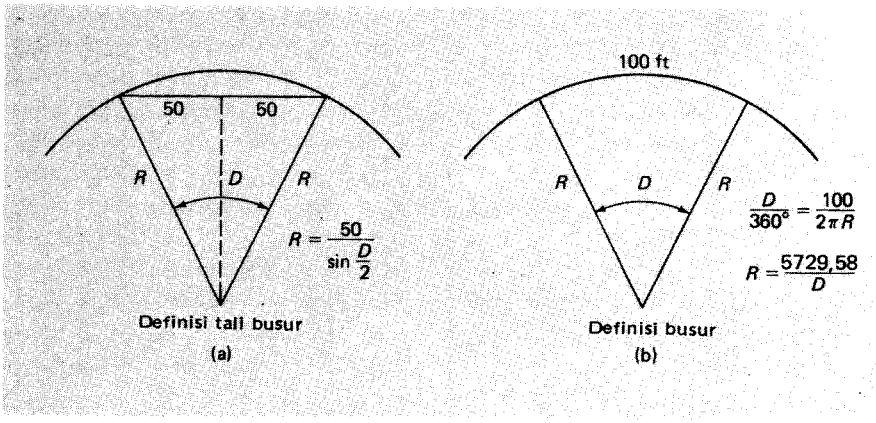


Gambar 25-2. Pemakaian lengkungan peralihan spiral.

lingkaran atau lebih, yang berbeda jari-jarinya, saling singgung dan pusat-pusatnya pada satu pihak dari garis singgung bersama. Gabungan sebuah garis lurus pendek (kurang dari 100 ft) menghubungkan dua busur lingkaran yang keduanya berpusat sepihak, seperti pada Gambar 25-1(c) disebut *lengkungan "punggung-patah"* (broken-back curve). *Sebuah lengkungan membalik* seperti pada Gambar 25-1(d), terdiri atas dua busur lingkaran saling singgung, pusat-pusatnya berseberangan terhadap garis singgung gabungan (sekutu). Lengkungan-lengkungan majemuk, "punggung-patah", dan membalik tidak sesuai untuk jalan raya modern kecepatan-tinggi, angkutan-cepat dan lalu-lintas kereta api, dan sebaiknya dihindari bila mungkin. Lengkungan-lengkungan itu kadang-kadang perlu di tanah bergunung-gunung untuk menghindari tanjakan yang berlebihan atau galian dan timbunan yang sangat dalam. Lengkungan majemuk sering dipakai pada jalan keluar kecepatan-rendah dan jalan masuk ke jalan raya antar negara bagian (interstate highway) dan jalan raya cepat (expressway).

Lengkungan transisi lebih disukai, terutama untuk sistem jalan baja dan angkutan cepat, untuk mengurangi perubahan mendadak dalam kelengkungan pada simpangan antara tangen (garis lurus) dan lengkungan melingkar. Sebuah *spiral* merupakan lengkungan transisi yang amat baik karena jari-jarinya berkurang seragam dari tak terhingga pada tangen menjadi sebesar jari-jari lengkungan yang disambung olehnya. Spiral dipakai untuk menghubungkan tangen dengan lengkungan melingkar, tangen dengan tangen (spiral ganda), dan lengkungan melingkar dengan lengkungan melingkar. Gambar 25-2 menggambarkan susunan-susunan ini.

Pengaruh gaya sentrifugal pada kendaraan yang sedang melewati lengkungan dapat diimbangi dengan *miring-tikungan,* yang menaikkan rel luar atau tepi luar pada pengerasan jalan. Transisi yang benar menjadi miring-tikungan pada sebuah spiral bertambah seragam bersama jarak dari awal spiral, dan berbanding terbalik dengan jari-jari pada sembarang titik. Spiral yang dilengkapi miring-tikungan baik menjamin berkendaraan yang lancar dan aman dengan ausnya peralatan yang lebih sedikit. Seperti dikemukakan, spiral dipakai untuk sistem jalan baja dan angkutan cepat. Ini karena kereta api dibatasi untuk mengikuti rel, sehingga berkendaraan yang halus, aman dan nyaman hanya dapat dijamin dengan pelurusan yang dibangun dengan benar termasuk lengkungan transisinya. Pada jalan raya, spiral jarang dipakai karena pengemudi mampu mengatasi perubahan arah mendadak pada lengkungan melingkar dengan jalan membelokkan kemudi mengikuti jalan spiral sewaktu masuk dan keluar lengkungan. Untuk pembahasan yang terperinci mengenai spiral dan miring-tikungan, para pembaca dapat memakai acuan pengukuran lintas jalur yang ditulis-kan dalam Daftar Pustaka pada bagian akhir bab.



Gambar 25-3. Derajat kelengkungan.

25-2. DERAJAT LENGKUNGAN. Dalam praktek di Eropa dan mayoritas pekerjaan jalan raya di Amerika, lengkungan melingkar dinyatakan dengan jari-jarinya – sebagai contoh "lengkungan 1500-m" dan "lengkungan 1000-ft". Jalan baja Amerika dan beberapa dinas jalan raya lebih suka menyatakan lengkungan dengan *derajatnya*, memakai definisi tali-busur atau busurnya.

Dalam praktek jalan baja (dan pembangunan jalan raya dahulu), derajat kelengkungan adalah sudut di pusat lengkungan melingkar yang busurnya mempunyai *tali-busur* 100 ft. Ini adalah *definisi tali-busur* ditunjukkan dalam Gambar 25-3(a). Dalam kebanyakan pekerjaan jalan raya, derajat lengkungan adalah sudut pusat yang menghadap ke *busur* lingkaran 100 ft, yaitu *definisi busur* [Gambar 25-3(b)]. Rumus-rumus yang berkaitan dengan jari-jari R dan derajat D ditunjukkan di samping gambar.

Jari-jari lengkungan definisi tali-busur dan busur untuk harga-harga D dari 1 sampai 4° diberikan dalam Tabel E-5. Walaupun selisih-selisih antara kedua definisi nampak kecil dalam batas ini, tetapi cukup berarti dalam hitungan-hitungan.

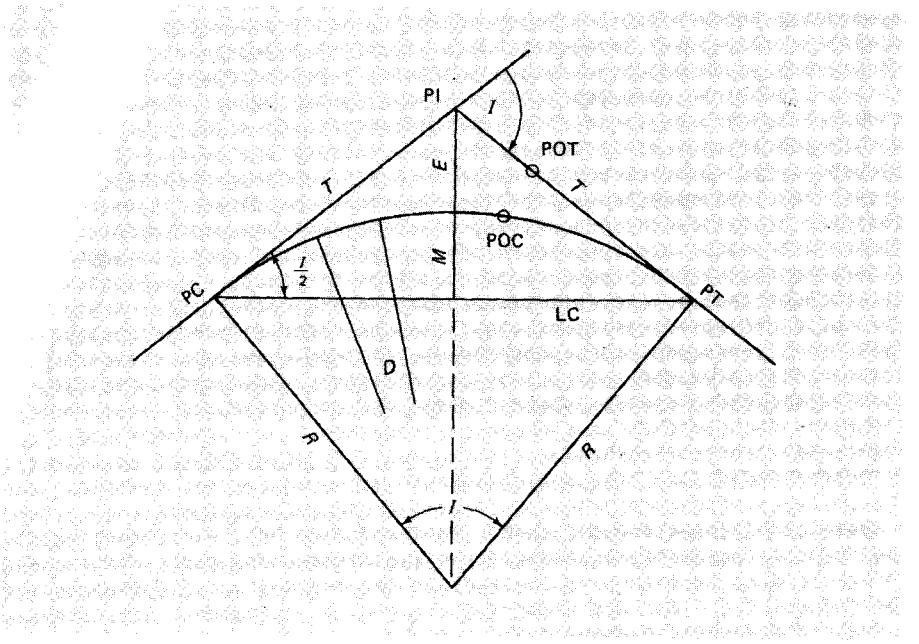
Sebuah lengkungan definisi tali-busur itu panggah (konsisten) dalam memakai tali-busur untuk hitungan dan pemasangan dengan pita 100,00 ft panjangnya untuk stasiun-stasiun berangka bulat pada lengkungan berjari-jari besar. Kelemahannya adalah (a) R tidak berbanding lurus dengan kebalikan D dan (b) lebih sulit mengecek pada lengkungan tajam.

Lengkungan definisi-busur mempunyai kelemahan bahwa kebanyakan pengukuran antara stasiun-stasiun adalah lebih pendek daripada seluruh panjang pita ukur. Tetapi hitungan dipermudah karena sebuah harga tepat jari-jari diperoleh dengan membagi jari-jari untuk lengkungan 1° dengan derajat D. Juga, seperti akan terlihat di belakang, rumus untuk panjang adalah tepat, yang merupakan keuntungan dalam mempersiapkan penjelasan hak-memakai (right of way).

Definisi-definisi busur dan tali-busur praktis memberikan hasil sama bila diterapkan pada lengkungan rata yang biasa ada pada jalan raya dan jalan baja modern.

25-3. PENURUNAN RUMUS-RUMUS. Unsur-unsur lengkungan melingkar ditunjukkan dalam Gambar 25-4. *Titik potong* tangen (TP) disebut pula *puncak* (P). Awal lengkungan atau *titik kelengkungan* (TK) dan akhir kelengkungan atau *titik tangen* (TT) sering pula berturut-turut disebut BC dan EC. Istilah lainnya adalah *singgung (tangen) ke lengkungan* (TL) dan *lengkungan ke tangen* (LT).

Jarak dari TK ke TP dan dari TP ke TT disebut *jarak tangen* (T). Garis yang menghubungkan TK dan TT adalah *tali-busur panjang* (TBP). *Panjang lengkungan* (L) adalah jarak



Gambar 25-4. Unsur-unsur lengkungan melingkar.

dari TK ke TT diukur sepanjang lengkungan untuk definisi busur, atau dengan tali busur 100 ft untuk definisi tali busur.

Jarak luar (E = external distance) adalah panjang garis dari puncak (P) ke lengkungan sepanjang jari-jari. *Ordinat tengah* (M = middle ordinate) adalah panjang garis dari titik tengah TBP ke titik tengah lengkungan. POC adalah *titik sembarang pada lengkungan;* dan POT adalah *titik sembarang pada tangen.* Derajat lengkungan sembarang adalah D_a (definisi busur = arc definition) atau D_c (definisi talibusur = chord definition).

Perubahan arah dua tangen adalah sudut perpotongan I, yang sama dengan sudut pusat di hadapan lengkungan.

Menurut definisi, dan menurut Gambar 25-4, hubungan untuk *definisi busur* adalah:

$$\frac{D^\circ}{360^\circ} = \frac{100}{2\pi R} \quad \text{dan} \quad R = \frac{5729{,}58}{D} \text{ ft} \tag{25-1}$$

$$T = R \text{ tg } \frac{I}{2} \tag{25-2}$$

$$T_a = \frac{T_{1^\circ}}{D_a} \tag{25-3}$$

$$L = 100\frac{I^\circ}{D^\circ} \tag{25-4}$$

juga

$$L = RI \qquad (I \text{ dalam radial}) \tag{25-5}$$

$$\text{TBP} = 2R \sin\frac{I}{2} \tag{25-6}$$

$$\frac{R}{R+E} = \cos\frac{I}{2} \quad \text{dan} \quad E = R\left(\frac{1}{\cos I/2} - 1\right) \tag{25-7}$$

juga

$$E = R \operatorname{exsec}\frac{I}{2} \tag{25-7a}$$

$$E_a = \frac{E_{1^\circ}}{D_a} \tag{25-8}$$

$$\frac{R-M}{R} = \cos\frac{I}{2} \quad \text{dan} \quad M = R\left(1 - \cos\frac{I}{2}\right) \tag{25-9}$$

juga

$$M = R \operatorname{vers}\frac{I}{2} \tag{25-9a}$$

Dalam Pers. (25-3) dan (25-8), T_a dan E_a adalah berturut-turut jarak tangen dan jarak luar, untuk harga D_a yang diberikan; $T_1{}^\circ$ dan $E_1{}^\circ$ adalah panjangnya untuk lengkungan 1° dan harga I yang diberikan.

Rumus-rumus untuk T, L, E dan M berlaku pula untuk lengkungan definisi-tali-busur. Koreksi-koreksi kecil harus diberikan pada harga-harga T_a dan E_a yang didapat dari Pers. (25-3) dan (25-8) berturut-turut.

Rumus yang berkaitan dengan R dan D untuk lengkungan definisi-tali-busur adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{50}{\sin D/2} \tag{25-10}$$

25-4. PENENTUAN TITIK-TITIK LENGKUNGAN (CURVE STATIONING). Biasanya sebuah pengukuran awal jalur lintas terdiri atas penentuan TP, pemasangan tangen dan penetapan titik-titik stasiun lengkungan yang bersambung sepanjang itu mulai awal proyek, lewat masing-masing TP ke titik akhir proyek. Setelah ini, sudut-sudut I diukur dan lengkungannya dihitung dan dipancang. Perletakan titik pada lengkungan berdasarkan letak titik TP-nya. Untuk menghitung letak TK, panjang tangen T dikurangkan dari titik TP, dan untuk menghitung letak TT, panjang lengkungan L ditambahkan ke TK.

CONTOH 25-1

Anggaplah bahwa $I = 8^\circ 24'$, stasiun TP adalah 64 + 27,46 dan keadaan tanah memerlukan derajat lengkungan maksimum sepanjang dimungkinkan oleh persyaratan, yaitu, misalnya, $2^\circ 00'$ (definisi busur). Hitung penentuan stasiun TK dan TT dan jarak luar serta ordinat tengah untuk lengkungan ini.

PENYELESAIAN

Dengan Pers. (25-1):

$$R = \frac{5729{,}58}{2} = 2864{,}79 \text{ ft}$$

[1] Fungsi exsec $I/2$ dan vers $I/2$ adalah berturut-turut sama dengan $[(1/\cos I/2) - 1]$ dan $(1 - \cos I/2)$. Di waktu lampau sering dipakai, dan ditabelkan untuk berbagai harga I. Sekarang, dengan kalkulator elektronik, lebih disukai memakai Pers. (25-7) dan (25-9).

Dicek: Dari Tabel E-5; $R = 2864{,}79$.
Dengan Pers. (25-2):

$$T = 2864{,}79 \times 0{,}73435 = 210{,}38$$

Dicek: Dengan Pers. (25-3):

$$T = \frac{T_{1^\circ}}{D_a} = \frac{420{,}75}{2} = 210{,}38$$

di mana $T_{1^\circ} = 5729{,}58 \times 0{,}073435 = 420{,}75$.
Dengan Pers. (25-4):

$$L = 100 \times \frac{8{,}40^\circ}{2^\circ} = 420{,}00 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Stasiun TP} &= 64 + 27{,}46 \\ -T &= \underline{\ 2 + 10{,}38} \\ \text{Stasiun TK} &= 62 + 17{,}08 \\ +L &= \underline{\ 4 + 20{,}00} \\ \text{Stasiun TT} &= 66 + 37{,}08 \end{aligned}$$

Juga dengan Pers. (25-7):

$$E = 2864{,}79 \times 0{,}002693 = 7{,}71 \text{ ft}$$

Dicek: Dengan Pers. (25-8):

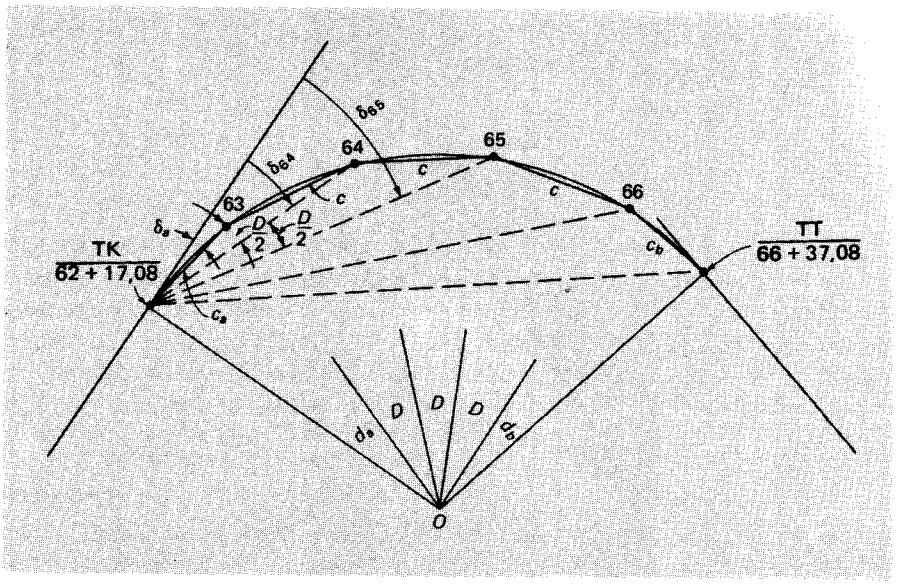
$$E_a = \frac{E_{1^\circ}}{D_a} = \frac{15{,}42}{2} = 7{,}71$$

di mana $E_{1^\circ} = 5729{,}58\ [(1/0{,}997314) - 1] = 15{,}42$.
Juga dengan Pers. (25-9):

$$M = 2864{,}79 \times 0{,}002686 = 7{,}69 \text{ ft}$$

Hitungan-hitungan untuk TK dan TT sebaiknya disusun seperti di atas. Perhatikan bahwa stasiun untuk TT *tak dapat* diperoleh dengan jalan menambahkan jarak tangen ke stasiun TP, walaupun lokasi TP di tanah ditentukan dengan pengukuran jarak tangen dari TP. Titik-titik yang merupakan TK dan TT harus ditandai dengan saksama dan ditempatkan tepat pada garis singgung (tangen) pada jarak yang benar dari TP, sehingga harga-harga terhitung lainnya akan menepati kedudukan yang tetap di tanah.

Sebelum pemasangan sebuah lengkungan, pengukuran jalur lintas adalah serangkaian tangen yang mempunyai kedudukan bersambungan, sehingga sebuah penyesuaian harus diberikan pada masing-masing TT setelah lengkungan-lengkungan disisipkan. Jadi, untuk penetapan akhir di TT, ada sebuah "persamaan stasiun" atau sebuah *"persamaan pengukuran rantai"* (equation of chainage) yang berarti penentuan stasiun mundur sepanjang lengkungan bergabung dengan pengukuran maju sepanjang tangen. Untuk Contoh 25-1, itu adalah 66 + 37,08 ke belakang = 66 + 37,84 maju; yaitu, (TP = 64 + 27,46) + (T = 2 + 10,38) sepanjang tangen maju di TT sebelum lengkungan ditentukan, yang berarti memperpendek jalur.

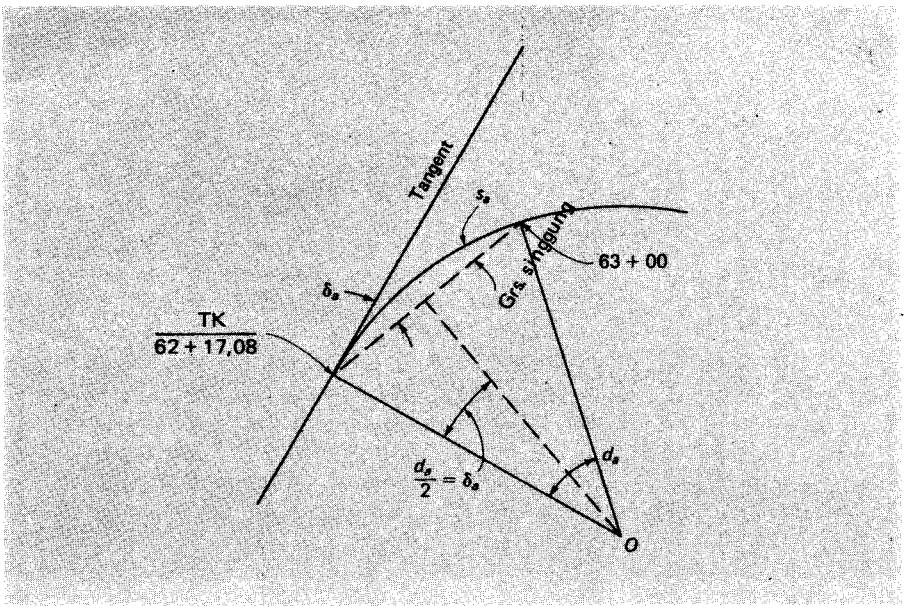


Gambar 25-5. Pemasangan lengkungan dengan sudut belokan.

Lengkungan yang dipakai dalam keadaan tertentu dipilih untuk menyesuaikan diri dengan keadaan tanah, dan pembatasan persyaratan pada D maksimum atau R minimum. Biasanya harga I dan stasiun TP tersedia dari pengukuran-pengukuran lapangan pada garis awal. Kemudian dipilih sebuah harga D sampai maksimum untuk jalur kereta api, atau sebuah R yang cocok untuk jenis jalan raya. Kadang-kadang harga E atau M yang disyaratkan menghindari sungai atau lereng curam di luar atau di dalam TP adalah diukur dan D atau R dihitung. Jarak tangen tidak sering menentukan (sebuah kekecualian adalah untuk membuat agar jalan baja, bis atau kereta bawah tanah mempunyai stasiun yang jatuh pada garis singgung (tangen) dan bukan pada lengkungan yang mempunyai miring-tikungan). Panjang lengkungan praktis tidak pernah menentukan.

25-5. PROSEDUR UMUM PERANCANGAN LENGKUNGAN DENGAN SUDUT BELOKAN MEMAKAI TEODOLIT KOMPAS ATAU TEODOLIT DAN PITA. Kecuali untuk kasus luar biasa, jari-jari lengkungan pada pengukuran lintas jalur adalah terlalu besar untuk dapat dibuat dengan memutar busur dari pusat lengkungan. Oleh karena itu lengkungan melingkar dipasang dengan (a) sudut-sudut belokan dan tali-busur, (b) simpangan tangen, (c) simpangan tali busur, (d) ordinat tengah, (e) dan metode lain. Pemancangan dengan sudut belokan adalah cara yang baku.

Pemasangan lengkungan dengan sudut belokan digambarkan pada Gambar 25-5. Dalam gambar, anggaplah bahwa sebuah teodolit kompas atau teodolit dipasang pada TK (stasiun 62 + 17,08 dalam Contoh 25-1). Masing-masing stasiun angka bulat akan ditandai sepanjang lengkungan, karena biasanya diambil tampang lintang (profil melintang), pemasangan pancang konstruksi, dan hitungan pekerjaan tanah dibuat pada titik-titik ini. (Tentu saja stasiun-tengahan atau titik kritis manapun, dapat pula ditetapkan). Stasiun pertama yang akan dipasang dalam contoh ini adalah 63 + 00. Untuk menandai titik itu dari TK, diambil bidikan belakang pada TP dengan pembacaan lingkaran horisontal instrumen dibuat nol. Sudut belokan δ_a ke stasiun 63 + 00 kemudian dibaca; dua petugas pita ukur mengukur tali-busur c_a dari TK dan memasang 63 + 00 pada ujung tali-busur di garis bidik instrumen. Dengan



Gambar 25-6. Setengah-tali-busur dan setengah-belokan.

stasiun 63 + 00 terpasang, petugas pita ukur mengukur panjang tali-busur c dari situ, dan memancang stasiun 64 + 00 di mana garis bidik instrumen, sekarang terpasang ke arah δ_{64}, memotong ujung akhir tali-busur itu. Proses ini diulang sampai seluruh lengkungan terpasang.

25-6. MENGHITUNG SUDUT BELOKAN DAN TALI-BUSUR (DECLECTION ANGLES AND CHORDS). Dari uraian terdahulu jelaslah bahwa sudut belokan dan tali-busur adalah harga-harga penting yang harus dihitung jika lengkungan akan dipasang dengan metode sudut belokan. Untuk memancangi stasiun pertama, yang biasanya berjarak tidak bulat dari TK (kurang dari pertambahan satu stasiun bulat), diperlukan sudut *setengah-belokan* δ_a dan *setengah-tali-busur* c_a. Ini diperlihatkan terinci dalam Gambar 25-6. Pada gambar ini, sudut pusat d_a berhadapan dengan busur s_a dari TK ke 63 + 00 dihitung dengan perbandingan menurut definisi D sebagai:

$$\frac{d_a}{s_a} = \frac{D}{100} \qquad \text{dari mana} \qquad d_a = \frac{s_a D}{100} \tag{25-11}$$

di mana s_a adalah selisih dalam penetapan stasiun kedua titik. Teori dasar geometri yang berguna dalam hitungan lengkungan melingkar dan pemancangan adalah *bahwa sudut pada sebuah titik antara sebuah tangen dan sembarang tali-busur adalah setengah sudut pusat di hadapan tali-busur itu.* Jadi sudut setengah-belokan δ_a yang diperlukan untuk pemancangan stasiun 63 + 00 adalah $d_a/2$ atau

$$\delta_a = \frac{s_a D}{200} \quad \text{(derajat)} \tag{25-12}$$

Karena setengah-belokan biasanya sudut kecil dan dinyatakan dalam menit, Pers. (25-12) menjadi:

$$\delta_a = 0.3 s_a D \quad \text{(menit)} \tag{25-13}$$

Panjang setengah-talisumbu, c_a dapat dinyatakan dalam δ_a dan jari-jari lengkungan sebagai:

$$\sin \delta_a = \frac{c_a}{2R} \qquad \text{sehingga} \qquad c_a = 2R \sin \delta_a \tag{25-14}$$

Karena busur antara stasiun-stasiun angka bulat berhadapan dengan sebuah sudut pusat tambahan D, dari ketentuan geometri tadi, sudut belokan ke masing-masing stasiun angka bulat setelah 63 + 00 diketemukan dengan menambahkan $D/2$ ke sudut belokan sebelumnya. Tali-busur penuh, c, adalah dihitung memakai Pers. (25-14), kecuali bahwa $D/2$ diganti untuk δ_a. Persamaan (25-13) dan (25-14) juga dipakai untuk menghitung sudut setengah-kelokan terakhir δ_b dan setengah-tali-busur (c_b) terakhir tetapi beda penentuan stasiun antara kedua stasiun terakhir menggantikan panjang busur s_a.

CONTOH 25-2

Hitunglah sudut-sudut setengah-belokan dan setengah-tali-busur δ_a, c_a, δ_b dan c_b dan juga hitung tali-busur c pada Contoh 25-1.

Dengan Pers. (25-13):

$$\delta_a = 0{,}3(82{,}92)2^\circ = 49{,}75' = 0^\circ 49' 45''$$
$$\delta_b = 0{,}3(37{,}08)2^\circ = 22{,}25' = 0^\circ 22' 15''$$

Dengan Pers. (25-14):[2]

$$c_a = 2(2864{,}79) \sin 0^\circ 49' 45'' = 82{,}92 \text{ ft}$$
$$c_b = 2(2864{,}79) \sin 0^\circ 22' 15'' = 37{,}08 \text{ ft}$$
$$c = 2(2864{,}79) \sin 1^\circ 00' 00'' = 99{,}99 \text{ ft}$$

Sebuah cara lain menghitung sudut belokan adalah mengalikan sudut belokan tiap foot busur atau tali-busur dengan panjang busur atau tali-busur yang keluar.

TABEL 25-1. SUDUT-BELOKAN DAN DATA TALI-BUSUR UNTUK LENGKUNGAN CONTOH

STASIUN	TALIBUSUR	PERTAMBAHAN BELOKAN	SUDUT BELOKAN
66 + 37,08 (TT)	37,08	0°22'15"	4°12'00"
66 + 00	99,99	1°00'00"	3°49'45"
65 + 00	99,99	1°00'00"	2°49'45"
64 + 00	99,99	1°00'00"	1°49'45"
63 + 00	82,92	0°49'45"	0°49'45"
62 + 17,08 (TK)			

[2] Untuk harga sampai 2°00′ (definisi busur) sebuah lengkungan, panjang busur dan tali-busur hampir sama. Pada lengkungan yang lebih tajam, tali-busur lebih pendek daripada panjang busur yang bersangkutan. Contoh, pengukuran tali-busur untuk memasang sebuah busur 100-ft untuk lengkungan 6°00′ adalah 2(5729,58/6) sin 3° = 99,95 ft. Tabel E-6 memuat panjang tali-busur sebenarnya untuk pertambahan stasiun-angka-bulat dan pecahan bagi berbagai harga D (baik definisi-busur maupun tali-busur). Tali-busur sebenarnya yang dihitung dalam Contoh 25-2 dapat dicek dengan mengambil dari tabel ini.

Dalam Contoh 25-2 sudut belokan tiap foot busur adalah $(D/2)/100 = 1°00'/100 = 0{,}60'/$ ft. Jadi sudut belokan δ_a dari TK ke stasiun 63 + 00 adalah $0{,}60' \times 82{,}92 = 49{,}75'$. Sudut-sudut belokan tiap foot adalah yang tercantum dalam Tabel E-5 untuk berbagai harga D. Hitungan-hitungan untuk sudut belokan dan talibusur pada lengkungan definisi tali-busur memakai rumus-rumus yang sama; tetapi R dihitung dengan Pers. (25-10). Perhatikan bahwa untuk suatu harga derajat lengkungan yang diberikan, R adalah lebih panjang untuk definisi-tali-busur daripada definisi-busur dan setengah-tali-busur sebenarnya untuk lengkungan definisi-tali-busur adalah lebih panjang daripada "harga-harga nominalnya" (selisih-selisih dalam penentuan stasiun). Pengecekan pada Tabel E-6 membuktikan kenyataan ini.

25-7. CATATAN LENGKUNGAN. Berdasarkan prinsip-prinsip yang telah dibicarakan, sudut-belokan dan data tali-busur untuk pemancangan seluruh lengkungan pada Contoh 25-1 dan 25-2 telah dihitung dan ditulis dalam Tabel 25-1. Biasanya, seperti telah dikerjakan dalam kasus ini, data disiapkan untuk pemancangan dari TK, walaupun keadaan lapangan barangkali tak memungkinkan lengkungan dipasang seluruhnya dari sana. Masalah ini dibahas dalam Paragraf 25-9.

Harga sudut belokan biasanya dipakai sampai beberapa angka di belakang koma untuk tujuan pengecekan dan untuk menghindari penumpukan galat-galat kecil bila D bukan bilangan bulat misalnya $3°17{,}24'$. Pada pekerjaan jalan baja zaman dulu, dengan teodolit kompas 1 menit, D biasanya dibulatkan sampai kelipatan 2 menit. Perhatikan dalam Tabel 25-1 bahwa sudut belokan ke TT adalah $4°12'$ tepat setengah sudut I yaitu $8°24'$. Perbandingan ini merupakan pengecekan penting pada hitungan-hitungan semua sudut belokan.

Catatan lapangan untuk lengkungan pada contoh ini ditulis dalam Gambar D-13 seperti yang akan terdapat dalam sebuah buku lapangan. Catatan ditulis menaik halaman untuk menyederhanakan pembuatan sketsa sambil melihat ke arah maju ke depan. Komputer-komputer elektronik berbagai jenis dan ukuran dapat melaksanakan dengan mudah semua hitungan yang perlu untuk pemancangan lengkungan dengan sudut-sudut belokan.

Dalam banyak kasus lebih disukai untuk *mundur* pada lengkungan dengan jalan memasang alat pada TT dan bukan pada TK. Dengan demikian satu pemasangan dihilangkan dan bidikan-bidikan panjang diambil pada awal pengukuran. Dalam pekerjaan saksama, lebih baik memasang lengkungan dari kedua ujungnya ke tengah, di mana galat-galat kecil dapat lebih mudah diratakan. Pada lengkungan-lengkungan melingkar yang panjang atau sangat tajam, atau bila halangan menutup pandangan dari TK atau TT, pemasangan alat pada lengkungan (POC) adalah perlu (lihat Paragraf 25-9).

25-8. PROSEDUR TERPERINCI UNTUK PERANCANGAN LENGKUNGAN DENGAN SUDUT BELOKAN MEMAKAI TEODOLIT KOMPAS ATAU TEODOLIT DAN PITA. Apapun metode yang dipakai untuk memancang titik-titik lengkungan perantara, langkah-langkah pertama dalam pemasangan lengkungan adalah: (1) penetapan TK dan TT, biasanya dengan pengukuran jarak tangen T dari TP sepanjang tangen belakang maupun depan, dan (2) pengukuran seluruh sudut belokan di TK dari TP ke TT. Langkah yang kedua ini harus dilaksanakan bila mungkin, karena sudut terukur harus cocok yaitu sama dengan $I/2$; bila tidak, ada galat pada pengukuran atau hitungan dan tak semestinya waktu dibuang dengan memasang lengkungan yang tak mungkin benar.

Adalah merupakan praktek yang baik untuk juga memancang titik tengah lengkungan sebelum mulai memasang titik-titik perantara, terutama pada lengkungan panjang. Titik tengah dapat dipasang dengan membagi dua $(180° - I)$ pada TP, dan memasang jarak luar dari sana. Pengecekan sudut belokan dari TK ke titik tengah harus menghasilkan sudut sebesar $I/4$. Bila pemancangan titik-titik perantara sudah mencapai titik tengah sepanjang lengkungan, harus dilaksanakan pengukuran untuk pengecekan tali-busur.

Langkah-langkah selanjutnya dalam pemancangan titik perantara lengkungan dengan metode sudut-belokan memakai teodolit kompas (atau teodolit) dan pita, disajikan dengan berdasarkan pada lengkungan dalam Contoh 25-1 dan 25-2. Dengan instrumen dipasang dan diatur datar di TK, alat ini diorientasikan dengan bidikan belakang pada TP, atau pada sebuah titik sepanjang tangen belakang sedangkan pembacaan lingkaran dibuat 0°00′. Sudut setengah-belokan sebesar 49′45″ kemudian dibuat. Sementara itu, tanda 17 ft pada pita dipegang pada TK. Ujung 100 ft pita (pengurang) diputar hingga garis bidik memotong titik 0,08 ft sebelah belakang dari tanda 100-ft. Ini adalah stasiun 63 + 00. Untuk memancang stasiun 64 + 00, petugas pita belakang kemudian memegang tanda nol pada stasiun 63, petugas depan memasang stasiun 64 sejauh 99,99 ft dengan pengarahan dari petugas di instrumen, yang telah membuat pembacaan sebesar 1°49′45″ pada lingkaran datar (horisontal). Seorang petugas pita depan yang berpengalaman akan berjalan sepanjang tali-busur penuh pertama yang diperpanjang, tahu atau menaksir simpangan tali-busur, dan dari kedudukan di-luar-tali-busur dia memegang pita pada ujungnya dan memasang pancang dalam batas satu foot dari lokasi yang benar bila petugas instrumen telah menyiapkan sudut belokan nanti.

Setelah menempatkan stasiun angka bulat terakhir (66 + 00 pada contoh ini), untuk menentukan kalau ada kesalahan penutup dalam pemancangan lengkungan, TT *penutup* harus dipancang memakai sudut belokan terakhir dan setengah-talibusur. Ini jarang cocok dengan TT yang ditetapkan dengan jarak T sepanjang tangen depan dari TP karena galat-galat yang tertimbun. Kesalahan penutup ini harus diukur; kemudian kesaksamaan lapangan dapat dinyatakan sebagai perbandingan numeris seperti yang dipakai dalam pengecekan poligon. Jarak kesalahan penutup adalah pembilang dan $L + 2T$ adalah penyebut. Jika kesalahan penutup pada contoh ini adalah 0,25 ft, kesaksamaannya adalah $0{,}25/(420{,}00 + 2 \times 210{,}38) = 1/3360$.

25-9. PEMASANGAN ALAT PADA LENGKUNGAN. Penghalang dan jarak bidikan yang sangat panjang kadang-kadang menyebabkan perlunya pemasangan alat pada lengkungan. Prosedur yang paling sederhana untuk diikuti adalah yang memungkinkan pemakaian catatan yang sama yang dihitung untuk pemasangan lengkungan dari TK.

Dalam metode ini instrumen dibidikkan ke belakang pada sembarang stasiun lengkungan dengan teropong luar biasa dan lingkaran horisontal dipasang pembacaan sebesar *sudut-belokan untuk stasiun itu dari TK.* Teropong dikembalikan pada kedudukan biasa, dan sudut-sudut belokan yang sebelumnya telah dihitung untuk berbagai stasiun dari TK, dipakai.

Dalam contoh pada paragraf-paragraf terdahulu, bila pemasangan instrumen diperlukan pada stasiun 65, tempatkan 0°00′ pada instrumen dan bidikkan ke TK dengan teropong luar biasa. Kembalikan ke biasa, buatlah pembacaan sudut terbaca sebesar sudut belokan yaitu 3°49′45″, dan pancanglah stasiun 66. Atau, jika TK tidak kelihatan, buatlah pembacaan 0°49′45″ pada instrumen, bidiklah stasiun 63, kembalikan ke biasa, buatlah pembacaan 3°49′45″, dan tentukan lokasi stasiun 66.

Sebuah sketsa sederhana akan membuat jelas geometri dasar prosedur ini.

25-10. PERANCANGAN LENGKUNGAN DENGAN SUDUT BELOKAN MEMAKAI TAKIMETER ELEKTRONIK. Takimeter elektronik yang baru atau instrumen stasiun-kotah yang dibicarakan dalam Bab 10 merupakan alat yang sangat membantu dalam perancangan lengkungan dengan sudut belokan. Dengan alat-alat ini, regu lapangan dikurangi dari tiga menjadi dua orang. Sudut-sudut belokan dihitung dan dipasang seperti pada contoh terdahulu, tetapi tali-tali-busur semua diukur secara elektronis dari TK atau stasiun lain di mana instrumen ditempatkan. Jika pemancangan direncanakan dari TK, tali-tali-busur dari sana

[illegible] dengan Pers. (25-14), kecuali bahwa sudut belokan untuk masing-masing stasiun [illegible] untuk δ_a untuk memperoleh tali-busur yang bersangkutan. Tali-tali-busur yang diperlukan untuk memancang lengkungan pada contoh tadi memakai takimeter elektronik yang dipasang di TK adalah 82,92 ft untuk 63 + 00, 182,89 ft untuk 64 + 00, 282,80 ft untuk 65 + 00, 382,63 ft untuk 66 + 00, dan 419,62 ft ke TT, yang merupakan tali-busur panjang hasil Pers. (25-6).

Untuk memancang lengkungan memakai takimeter elektronik, instrumen ditempatkan dalam cara pelacakan. Sudut belokan ke masing-masing stasiun ditetapkan dan tali-busur yang diperlukan ke stasiun itu dimasukkan dalam instrumen. Pemegang instrumen mengarahkan pemegang pemantul ke pelurusan yang benar. Pemantul kemudian digerakkan maju atau mundur seperlunya, sehingga dicapai panjang tali-busur yang benar, di mana pancang dipasang. Walaupun lengkungan dapat dipancang dengan cepat memakai peralatan ini, bahaya yang berkaitan dengan prosedurnya adalah bahwa tiap pancang dipasang sendiri-sendiri dan tidak tergantung pada stasiun sebelumnya. Jadi tidak terjadi pengecekan pada ujung akhir lengkungan seperti pada metode yang menggunakan teodolit kompas atau teodolit dan pita yang dibicarakan dalam Paragraf 25-8, sehingga kesalahan sudut dan jarak tak dapat diketahui. Kesalahan besar biasanya dapat ditemukan dengan pemeriksaan visual pada pancang-pancang lengkungan, tetapi dengan pengukuran tali-busur memakai pita cepat-cepat antara stasiun-stasiun yang berdampingan memberikan pengecekan yang lebih baik.

25-11. PERANCANGAN LENGKUNGAN DENGAN SIMPANGAN (OFFSETS). Untuk lengkungan pendek, bila teodolit kompas atau teodolit tak ada, atau untuk tujuan pengecekan, salah satu dari empat cara jenis-simpangan dapat dipakai untuk lengkungan melingkar: *simpangan tangen, simpangan tali-busur, ordinat tengah,* dan *ordinat dari tali-busur panjang.* Gambar 25-7 menunjukkan hubungan simpangan tali-busur (CO = chord offset), simpangan tangen (TO), dan ordinat tengah (MO = middle ordinat). Secara visual dan dengan perbandingan rumus, simpangan tali-busur untuk stasiun-stasiun berangka bulat adalah:

$$\text{CO} = 2c \sin \frac{D}{2} = \frac{c^2}{R} = 2\text{TO} = \text{kira-kira } 8\text{MO} \qquad (25\text{-}15)$$

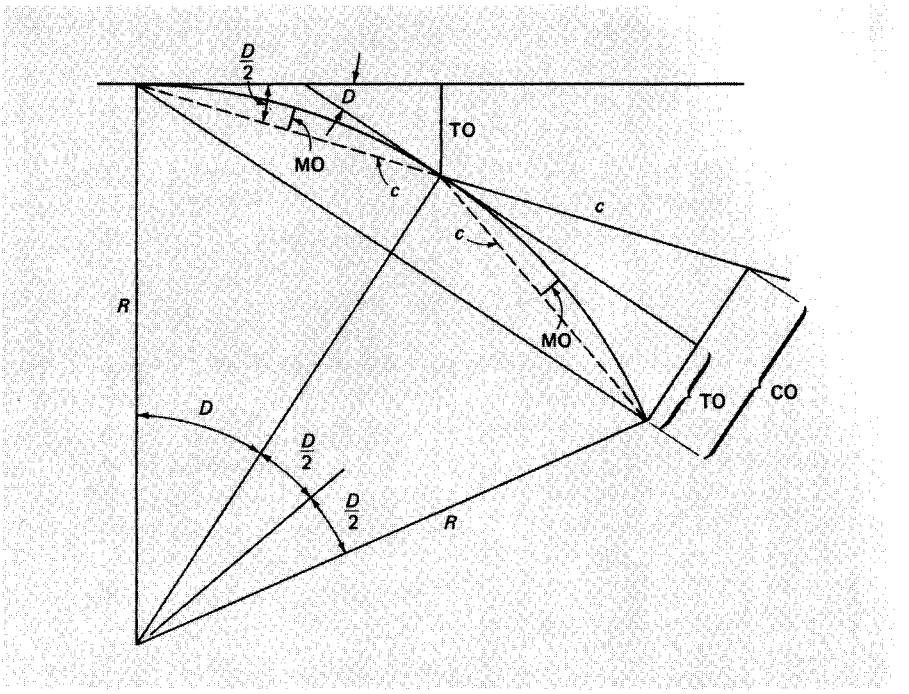
Karena sin 1° = 0,0175 (pendekatan), CO = $c(0{,}0175)D = 0{,}01\frac{3}{4}D$ (pendekatan), di mana D dalam derajat dan desimal.

Ordinat tengah m untuk sembarang setengah-tali-busur adalah $R(1 - \cos \delta)$, di mana δ adalah sudut-belokan untuk tali-busur. Sebuah persamaan yang berguna dalam pemasangan atau pengecekan lengkungan di tempat adalah:

D (dalam derajat) = m (dalam in) untuk sebuah tali-busur 62-ft (aproksimasi) (25-16)

Geometri metode simpangan tangen ditunjukkan pada Gambar 25-8. Bentuk ini menggambarkan bahwa lengkungan paling gampang dipasang pada dua arah dari TK dan TT ke sebuah titik bersama dekat tengah-tengah lengkungan. Prosedur ini menghindari pengukuran panjang dan menghasilkan sebuah pengecekan di mana perataan-perataan kecil dapat lebih mudah dilaksanakan bila perlu. Untuk memasang lengkungan memakai metode ini, jarak-jarak tangen diukur untuk menetapkan titik-titik sementara di A, B dan C pada bentuk. Dari titik-titik ini, pengukuran tegaklurus (simpangan tangen) dibuat untuk memasang pancang lengkungan. Jarak tangen (TD) dan simpangan tangen (TO) dihitung memakai tali-busur dan sudut-sudut δ dalam rumus-rumus berikut:

$$\text{TD} = c \cos \delta \qquad (25\text{-}17)$$



Gambar 25-7. Simpangan lengkungan.

$$\text{TO} = c \sin \delta \tag{25-18}$$

Dalam Pers. (25-17) dan (25-18), sudut-sudut δ dihitung dari Pers. (25-12) atau (25-13) dan tali-busur c ditentukan dari Pers. (25-14).

CONTOH 25-3.

Hitung dan tabelkan data yang perlu untuk pemancangan, dengan simpangan tangen, tengahan-stasiun-stasiun sebuah lengkungan melingkar dengan $I = 11°00'$, $D_c = 5°00'$ (definisi tali-busur), dan PC = 77 + 80,00.

PENYELESAIAN

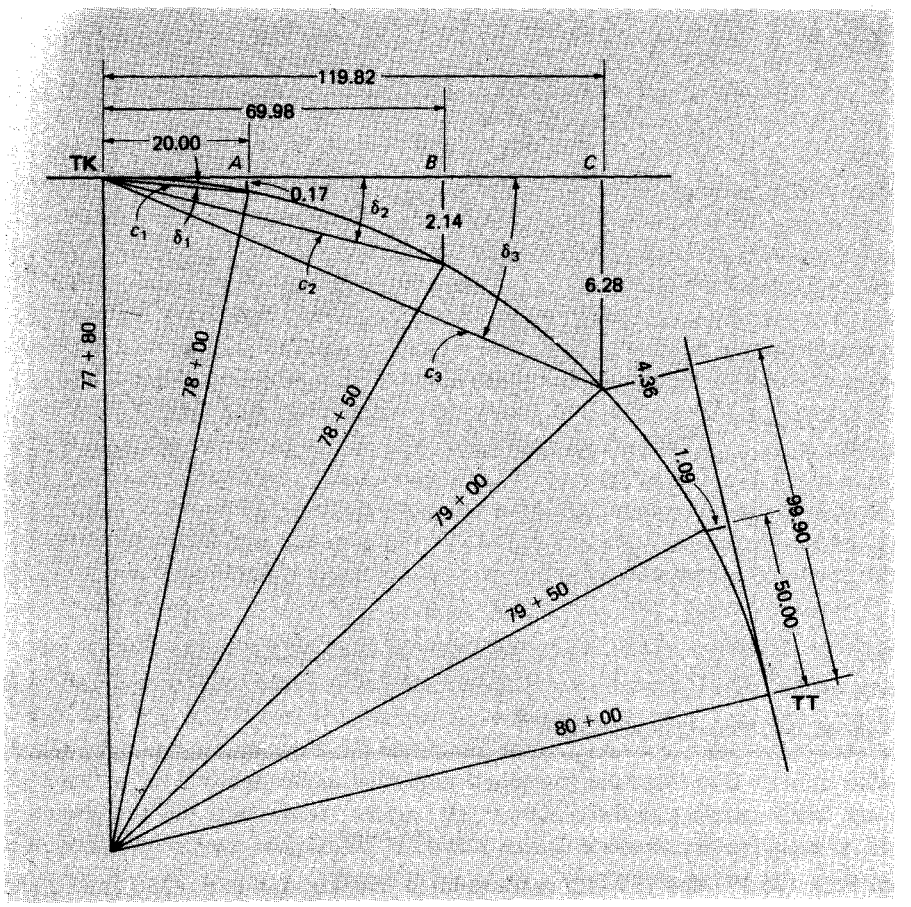
Dengan Pers. (25-4), panjang lengkungan adalah:

$$L = 100\left(\frac{11}{5}\right) = 220 \text{ ft}$$

Oleh karena itu stasiun TT adalah (77 + 80) + (2 + 20) = 80 + 00. Stasiun-stasiun perantara yang akan dipancangi adalah 78 + 00, 78 + 50, 79 + 00, dan 79 + 50 seperti ditunjukkan dalam Gambar 25-8.

Dengan Pers. (25-13), sudut-sudut δ dari TK adalah:

$$\delta_1 = 0{,}3(20)5 = 0°30'$$
$$\delta_2 = 0{,}3(70)5 = 105' = 1°45'$$
$$\delta_3 = 0{,}3(120)5 = 180' = 3°00'$$



Gambar 25-8. Pemancangan lengkungan dengan simpangan tangen.

Dengan Pers. (25-10) jari-jarinya adalah:

$$R = \frac{50}{\sin 2°30'} = 1146{,}28 \text{ ft} \qquad \text{(dicek dengan Tabel E-5)}$$

Dengan Pers. (25-14), tali-tali-busur dari TK adalah:

$$c_1 = 2(1146{,}28) \sin 0°30' = 20{,}00 \text{ ft}$$
$$c_2 = 2(1146{,}28) \sin 1°45' = 70{,}01 \text{ ft}$$
$$c_3 = 2(1146{,}28) \sin 3°00' = 119{,}98 \text{ ft}$$

Sekarang memakai Pers. (25-17) dan (25-18), jarak tangen dan simpangan tangen dihitung. Tali-busur, sudut-sudut δ, jarak-jarak tangen, dan simpangan tangen ke titik-titik pancang dari TT dihitung dengan cara yang sama. Semua data untuk soal itu ditulis dalam Tabel 25-2. Jarak-jarak tangen yang ditabelkan adalah panjang dari TK atau TT yang harus diukurkan untuk menentukan titik-titik *A*, *B*, *C* dan seterusnya, dan simpangan tangen adalah jarak-jarak dari titik-titik ini yang diperlukan untuk menentukan lokasi pancang lengkungan.

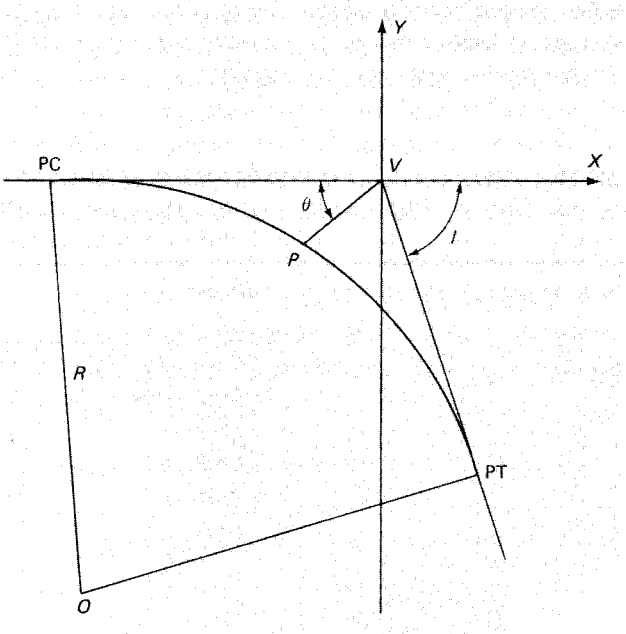
TABEL 25-2. DATA SIMPANGAN TANGEN UNTUK CONTOH 25-3.

STASIUN	SUDUT BELOKAN δ	TALI-BUSUR c	JARAK TANGEN ($c \cos \delta$)	SIMPANGAN TANGEN ($c \sin \delta$)
80 + 00 (TT)				
79 + 50	1°15′	50,01	50,00	1,09
79 + 00	2°30′	100,00	99,90	4,36
79 + 00	3°00′	119,98	119,82	6,28
78 + 50	1°45′	70,01	69,98	2,14
78 + 00	0°30′	20,00	20,00	0,17
77 + 80 (TK)				

25-12. MASALAH-MASALAH LENGKUNGAN MELINGKAR KHUSUS. Banyak masalah khusus timbul dalam rancangan dan hitungan lengkungan melingkar. Tiga buah yang lebih umum terjadi, akan dibicarakan di sini, dan masing-masing dapat dipecahkan memakai rumus-rumus geometri koordinat yang diberikan dalam Apendiks B.

25-12.1. MELEWATKAN LENGKUNGAN MELINGKAR MELALUI SEBUAH TITIK TERTENTU. Sebuah masalah yang sering terjadi dalam praktek adalah menentukan jari-jari sebuah lengkungan menghubungkan dua tangen yang ditetapkan dan melewati sebuah titik tertentu misalnya sebuah titik-lewat-bawah (underpass), titik-lewat-atas (overpass), atau jembatan yang ada. Masalah itu dapat dipecahkan dengan menetapkan sebuah sistem koordinat $X - Y$ seperti terlihat pada Gambar 25-9, di mana pusatnya ada di TP (puncak)

Gambar 25-9 Melewatkan lengkungan melalui sebuah titik tertentu.



dan Y berimpit dengan tangen depan. Koordinat pusat lengkungan dalam sistem ini adalah $X_O = -R \text{ tg } I/2$ dan $Y_O = -R$. Dari pengukuran jarak PV (P ke TP) dan sudut θ, koordinat titik P yaitu X_p, Y_p dapat ditentukan. Kemudian persamaan lingkaran berikut ini, diperoleh dengan substitusi ke dalam Pers. (B-6) dalam Apendiks B, dapat ditulis:

$$R^2 = \left(X_p + R \text{ tg } \frac{I}{2}\right)^2 + (Y_p + R)^2 \qquad (25\text{-}19)$$

Setelah X_p, Y_p dan $I/2$ diketahui dalam Pers. (25-19), dapat dicari R. Persamaannya pangkat dua tetapi dapat dipecahkan memakai Pers. (B-8) dari Paragraf B-5, Apendiks B.

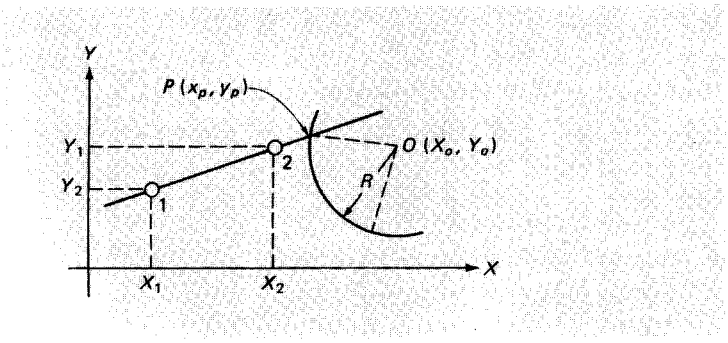
25-12.2. PERPOTONGAN SEBUAH LENGKUNGAN MELINGKAR DAN GARIS LURUS. Masalah lain yang sering dijumpai dalam hitungan lengkungan adalah penentuan titik potong sebuah lengkungan melingkar dan garis lurus. Sebuah contoh ditunjukkan dalam Gambar 25-10. Masalah dipecahkan dengan menuliskan sebuah persamaan untuk garis lurus, Pers. (B-5), dan sebuah untuk lingkaran, Pers. (B-6) di mana koordinat yang tak diketahui X_p dan Y_p daripada titik potong, adalah termasuk di dalamnya. Kedua persamaan kemudian diselesaikan serentak untuk X_p dan Y_p. dalam kasus-kasus yang biasa ada, koordinat X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_o dan Y_o diketahui, demikian pula R. Sebuah contoh serupa yang digambarkan dalam Gambar 25-10 dipecahkan dalam Apendiks B.

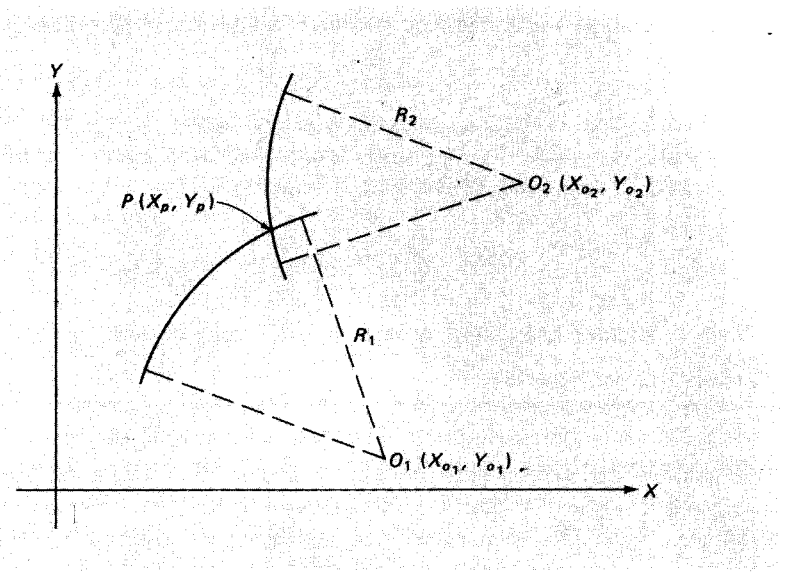
25-12.3. PERPOTONGAN DUA LENGKUNGAN MELINGKAR. Masalah lain, dijelaskan dalam Gambar 25-11, melibatkan hitungan titik potong dua lengkungan melingkar. Ini juga sebaiknya ditangani dengan geometri koordinat dan memerlukan penulisan persamaan-persamaan di mana termasuk koordinat X_p dan Y_p yang tak diketahui. Persamaan-persamaan itu diselesaikan untuk menentukan yang tak diketahui. Biasanya koordinat X_{o_1}, Y_{o_1}, X_{o_2}, Y_{o_2} ditentukan melalui pengukuran, dan R_1 dan R_2 dipilih berdasarkan pada kendala-kendala perancangan atau topografik. Sebuah contoh mirip yang digambarkan pada Gambar 25-11 diberikan dalam Apendiks B.

Masalah-masalah yang dibicarakan dalam paragraf ini dan sebelumnya, timbul paling sering dalam perancangan kapling dan simpangan-simpangan jalan ganda, dan dalam menghitung titik-titik hak-memakai sepanjang jalan raya dan jalan baja.

25-13. LENGKUNGAN-LENGKUNGAN MAJEMUK DAN BERBALIK. Lengkungan-lengkungan majemuk dan berbalik adalah gabungan dua lengkungan melingkar atau lebih.

Gambar 25-10. Perpotongan lengkungan melingkar dan garis lurus.





Gambar 25-11. Perpotongan dua lengkungan melingkar.

Keduanya sebaiknya hanya dipakai untuk jalan lalu-lintas lambat saja, dan pada tanah yang tak dapat dipasangi lengkungan sederhana tanpa biaya konstruksi yang berlebihan.

Rumus-rumus khusus telah dijabarkan untuk mempermudah hitungan bagi lengkungan semacam itu dan dijelaskan dalam buku-buku teks tentang pengukuran lintas jalur. Sebuah lengkungan majemuk diukur pada TK dan TT, atau barangkali dengan satu pemasangan instrumen pada *titik kelengkungan majemuk* (CC). Lengkungan berbalik ditangani dengan cara sama.

25-14. JARAK-PANDANG PADA LENGKUNGAN HORISONTAL. Keselamatan jalan raya memerlukan suatu jarak-pandang tertentu dalam zone-zone di mana mendahului kendaraan lain dibolehkan, dan di wilayah-wilayah terlarang mendahului untuk menjamin jarak-henti yang masuk akal bila ada halangan di tengah jalan. Persyaratan dan tabel menentukan harga-harga yang sesuai berdasarkan pada kecepatan kendaraan, waktu untuk menyadari halangan dan waktu untuk tindak-balik (reaksi) bagi rata-rata orang, jarak-abar (braking-distance) untuk suatu koefisien-gesek tertentu, dan jenis serta kondisi pengerasan jalan.

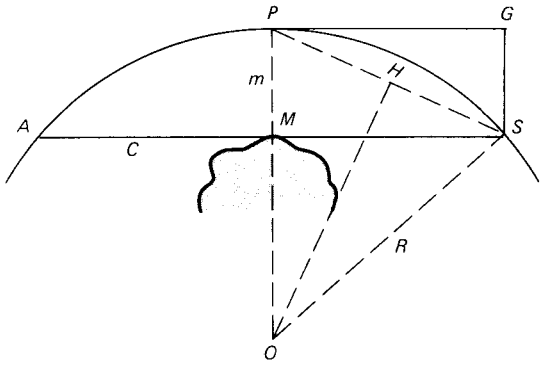
Sebuah jarak-pandang minimum 600 ft adalah baik untuk kecepatan rendah misalnya 30 mil/jam.

Sebuah rumus pendekatan untuk jarak pandang dapat dijabarkan dari Gambar 25-12, di mana jarak-pandang jelas melewati hambatan adalah panjang tali-busur-panjang *AS*, dinyatakan dengan *C*; dan kelonggaran yang diperlukan adalah ordinat tengah *PM*, dinyatakan dengan *m*. Kemudian dalam segitiga-segitiga *SPG* dan SOH.

$$m : SP = \frac{SP}{2} : R \quad \text{dan} \quad m = \frac{(SP)^2}{2R}$$

Biasanya m itu kecil dibanding dengan R, dan SP dapat dianggap sama dengan $C/2$. Kemudian:

$$m = \frac{C^2}{8R} \tag{25-20}$$



Gambar 25-12. Jarak-pandang.

Bila jarak m dari sumbu jalan raya ke hambatan diketahui atau dapat diukur, jarak pandang yang ada yaitu C dihitung dari rumus itu. Keadaan sebenarnya adalah bahwa mobil berjalan pada jalur dalam atau luar, sehingga jarak-pandang AS bukan merupakan jarak-henti yang sebenarnya, tetapi panjang yang dihitung adalah yang aman dan memuaskan untuk pemakaian praktis.

25-15. SUMBER-SUMBER GALAT. Beberapa sumber galat dalam hitungan lengkungan dan pemasangannya adalah:

1. Ketakmampuan memasang instrumen sampai pada bagian menit yang tepat untuk sudut-belokan.
2. Perpotongan yang buruk antara suatu pita dengan garis bidik (yang hampir paralel) pada lengkungan yang amat datar.
3. Pemakaian panjang pita 100,00 ft yang kurang penuh pada lengkungan definisi-busur.

25-16. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Kesalahan khas yang terjadi dalam pemasangan sebuah lengkungan di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Kelalaian membuat pengukuran biasa dan luar biasa dengan jumlah ulangan yang sama untuk sudut belokan di TP sebelum menghitung atau memasang lengkungan.
2. Menambahkan jarak tangen kepada stasiun TP untuk memperoleh stasiun TT.
3. Memakai tali-busur 100,00 ft untuk memasang lengkungan definisi-busur yang mempunyai D lebih besar daripada 2°.
4. Memakai pita setengah-tali-busur panjang nominal untuk lengkungan definisi-tali-busur yang mempunyai D lebih besar daripada 5° (sebuah setengah tali-busur 50-ft *nominal* untuk lengkungan 6° memerlukan pengukuran sebesar 50,02 ft).

SOAL-SOAL

25-1. Untuk lengkungan melingkar berikut ini dengan jari-jari R, berapakah derajat lengkungannya menurut (1) definisi-busur dan (2) definisi tali-busur?
(a) 800 ft (b) 1400 ft (c) 3600 ft

25-2. Jelaskan dan buatlah sketsa lengkungan-lengkungan majemuk, "punggung-patah" dan berbalik. Mengapa semuanya tak dianjurkan untuk pelurusan jalur transportasi?

25-3. Tuliskan kebaikan-kebaikan dan kelemahan-kelemahan definisi tali-busur dan busur untuk derajat lengkungan melingkar dalam perancangan konstruksi dan penjelasan tanah.

Hitunglah *T, L, E, M, R* atau *D* dan stasiun-stasiun TK dan TT untuk lengkungan-lengkungan melingkar dalam Soal 25-4 sampai dengan 25-7. Jarak-jarak dalam feet. Pakailah definisi tali-busur untuk lengkungan jalan baja, definisi-busur untuk jalan raya.

25-4. Lengkungan jalan baja dengan $D = 3°00'$, $I = 18°00'$ stasiun TP = 95 + 53,90.

	Lengkungan	*R*	*D*	*I*	Stasiun TP
25-5.	Jalan raya	1875,00	–	$15°30'$	65 + 17,50
25-6.	Jalan raya	–	$4°36'$	$24°20'$	70 + 28,64
25-7.	Jalan baja	2050,00	–	$19°00'$	123 + 40,28

Buatlah tabel data lengkungan *R, D, T, L, E, M,* TK, TT dan sudut lengkungan serta tali-busur untuk memasang lengkungan pada stasiun-stasiun berangka bulat dalam Soal 25-8 sampai dengan 25-15. Pakailah definisi busur untuk jalan raya dan definisi tali-busur untuk jalan baja.

	Lengkungan	*R*	*D*	*I*	Stasiun TP
25-8.	Jalan raya	1455,00	–	$33°30'$	82 + 64,20
25-9.	Jalan baja	–	$3°10'$	$20°18'$	58 + 54,62
25-10.	Jalan raya	2800 ft	–	$12°00'$	132 + 11,86
25-11.	Jalan baja	–	$2°30'$	$14°40'$	106 + 22,37
25-12.	Jalan raya	2585,00	$L = 550$ ft	–	39 + 29,50
25-13.	Jalan baja	$L = 400$ ft	$4°15'$	–	62 + 35,00
25-14.	Jalan raya	1270,00	–	$T = 275{,}00$ ft	28 + 07,25
25-15.	Jalan baja	$T = 195{,}00$	$2°50'$	–	106 + 52,91

Dalam Soal 25-16 sampai dengan 25-19 buatlah tabel data lengkungan dan sudut belokan serta tali-busur untuk memasang lengkungan berikut pada pertambahan tengahan-stasiun.

25-16. Lengkungan pada Soal 25-8.
25-17. Lengkungan pada Soal 25-9.
25-18. Lengkungan pada Soal 25-10.
25-19. Lengkungan pada Soal 25-11.

25-20. Sebuah jalur trem di tengah jalan yang lebarnya 80-ft membuat tikungan $76°24'$ ke jalan lain yang lebarnya sama. Garis kaki-lima di sudut mempunyai $R = 12$ ft. Berapakah harga *R* terbesar untuk sumbu rel yang dapat diberikan bila peraturan mengharuskan paling sedikit 15 ft dari kaki-lima?

Tabelkan semua data yang diperlukan untuk pemasangan dengan sudut-belokan, pada pertambahan stasiun-angka bulat, lengkungan melingkar sederhana pada Soal 25-21 dan 25-22.

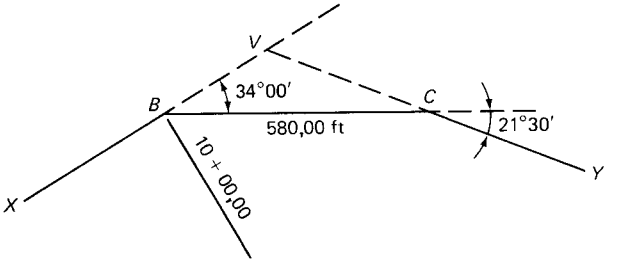
25-21. Jari-jari untuk lengkungan jalan raya akan dibulatkan sampai kelipatan 100 ft ke atas terdekat. Kondisi lapangan memerlukan *M* mendekati 20 ft untuk menghindari sebuah peningian tanah. TT = 49 + 18,70 dan $I = 22°00'$.

25-22. Harga *D* untuk sebuah lengkungan jalan raya akan dibulatkan sampai kelipatan 20 ft terdekat. Pengukuran lapangan menunjukkan bahwa *T* harus mendekati 190 ft untuk menghindari sebuah titik-lewat atas. PI = 36 + 64,50 dan $I = 14°00'$

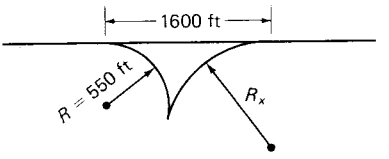
25-23. Sebuah TP pengukuran jalan raya jatuh di sebuah kolam, sehingga dilaksanakan pembuatan garis pemotong $AB = 280{,}00$ ft antara tangen-tangennya. Dalam segitiga yang terbentuk oleh titik-titik *A, B* dan TP, sudut $A = 16°30'$ dan di $B =$

$22°18'$. Stasiun A adalah 45 + 29,30. Hitunglah dan buatlah catatan tabel lengkungan untuk memasang lengkungan $4°30'$ pada pertambahan setengah-stasiun untuk menghubungkan garis-garis singgung (tangen) itu.

25-24. Sebuah lengkungan jalan raya melingkar tunggal akan menggabungkan tangen-tangen XV dan VY dan juga merupakan tangen terhadap BC. Hitunglah R, L dan stasiun-stasiun TK dan TT pada gambar.



25-25. Hitunglah R_x untuk memenuhi persyaratan-persyaratan pada gambar dan buatlah jarak-jarak tangen sama untuk kedua lengkungan.



25-26. Setelah sebuah bidikan belakang pada TK dengan pembacaan dibuat $0°00'$ pada instrumen, berapakah sudut belokan ke titik-titik lengkungan berikut ini?
(a) Pemasangan di titik tengah, belokan ke TT.
(b) Instrumen di titik tengah, belokan ke titik $\frac{3}{4}$.
(c) Pemasangan pada titik lengkungan $\frac{1}{4}$, belokan ke titik $\frac{3}{4}$.

25-27. Mengapa sudut puncak harus diukur dengan ulangan?

25-28. Anggaplah lengkungan pada Soal 25-8 akan dipancang pada pertambahan stasiun-harga-bulat dari TK memakai takimeter elektronik. Hitunglah dan tabelkan data lengkungan, sudut belokan, dan tali-tali busur yang diperlukan.

25-29. Seperti Soal 25-28, kecuali untuk lengkungan dalam Soal 25-9.

Untuk Soal 25-30 dan 25-31 hitunglah dan tabelkan koordinat untuk pemancangan sebuah lengkungan jalan baja melingkar dengan simpangan tangen. Yang akan dipasang adalah stasiun-stasiun biasa dan 50-ft, dan kira-kira setengah lengkungan dipasang dari masing-masing tangen.

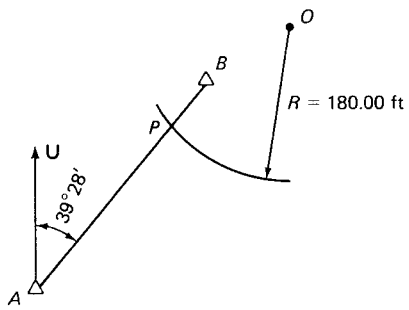
25-30. L = 240,00 ft, $D = 4°40'$ dan stasiun TK = 82 + 15,00.

25-31. Stasiun TP = 55 + 45,50, $D = 5°30'$ dan L = 460,00 ft.

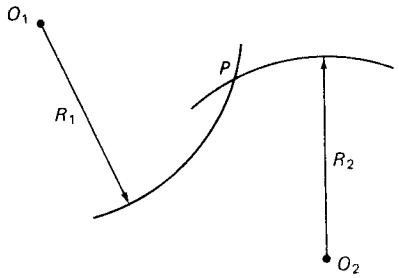
25-32. Dalam keadaan lapangan bagaimanakah pemasangan lingkaran melingkar dengan simpangan dari LC (TBP) adalah cara yang sesuai? Apakah kelemahan-kelemahannya?

25-33. Sebuah jalur untuk lari harus tepat 5000 ft sepanjang sumbunya dengan dua setengah-lingkaran dan dua tangen. Kedua lengkungan akan merupakan setengah seluruh panjangnya. Hitunglah L, R dan D untuk lengkungan-lengkungan itu.

25-34. Pada gambar koordinat titik-titik A dan O adalah X_A = 250,00 dan Y_A = 400,00; dan X_O = 630,00 dan Y_O = 750,00. Jika azimut garis AB adalah $39°28'$ dan jari-jari lengkungan melingkar adalah 180,00 ft, hitunglah koordinat titik potong P.



25-35. Koordinat sebuah pusat lingkaran O_1 adalah X_{o1} = 1000,00 dan Y_{o1} = 1000,00 ft; dan untuk pusat lingkaran O_2, X_{o2} = 1460,00 dan Y_{o2} = 590,00 ft; R_1 = 320 ft dan R_2 = 350 ft. Hitunglah koordinat titik potong P terlihat pada gambar.



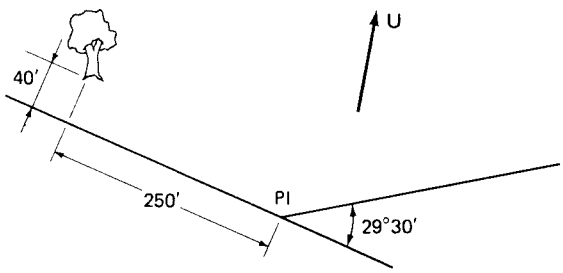
Berapa jarak pandang yang tersedia jika ada hambatan pada sebuah garis radial melalui TP di sebelah dalam lengkungan-lengkungan dalam Soal 25-36 dan 25-37?

25-36. Untuk Soal 25-8, hambatan 20 ft dari lengkungan.

25-37. Untuk Soal 25-13, hambatan 25 ft dari lengkungan.

25-38. Jika kesalahan penutup untuk lengkungan pada Soal 25-8 dihitung seperti dijelaskan dalam Paragraf 25-8 adalah sebesar 0,35 ft, berapakah kesaksamaan pemasangan di lapangan? Apakah Anda berpendapat itu akan dapat diterima untuk sebuah jalan tanah pertanian?

25-39. Dalam pemasangan sebuah jalan taman, tangen-tangen sumbu akan dihubungkan dengan lengkungan yang berjari-jari sebesar mungkin yang akan menghasilkan kelonggaran 10-ft antara tepi utara jalan selebar 20-ft dan sebatang pohon yang bernilai historik (lihat gambar). Tentukan jari-jari sumbu jalan raya.



25-40. Hitunglah luas yang dibatasi oleh dua busur dan tangen dalam Soal 25-25.

25-41. Tulislah sebuah program komputer untuk menghitung catatan-catatan lengkungan melingkar dengan cara sudut belokan.

25-42. Tulislah sebuah program komputer untuk menghitung catatan-catatan lengkungan melingkar dengan cara simpangan tangen.

DAFTAR PUSTAKA

Hikerson, T.F. 1967. *Lokasi Jalur Lintas dan Perancangannya,* edisi ke-5, New York: McGraw Hill.

Hubbell, C.C. 1951. "Rumus-rumus Lengkungan Melingkar," *Surveying and Mapping* 11(no. 3): 287.

Meyer, C.F., dan D.W. Gibson. 1980. *Pengukuran dan Perancangan Jalur Lintas,* edisi ke-5. New York: Harper & Row.

Pearson, F. 1983. "Pemasangan Tanpa Sumbu," *ASCE Journal of Surveying Engineering* 109(no. 1): 24.

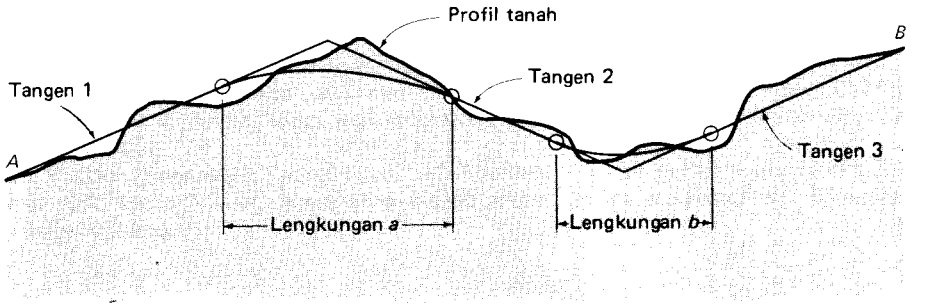
Smirnoff, M.V. 1958. "Tentang Menemukan Jari-jari sebuah Lengkungan Melingkar." *Surveying and Mapping* 18(no. 3): 321.

26 LENGKUNGAN PARABOLIK

26-1. PENGANTAR. Lengkungan parabolik biasanya dipakai untuk memberikan sebuah transisi yang halus antara garis-garis gradien (tanjakan) dibidang vertikal untuk jalan raya dan jalan baja. Sebuah contoh dijelaskan pada Gambar 26-1, yang menunjukkan pandangan tampang (profil) sebuah bagian jalan raya yang direncanakan untuk dibangun dari *A* ke *B*. Sebuah garis gradien yang terdiri dari tiga bagian tangen (garis singgung) untuk menyesuaikan dengan profil tanah. Diperlukan dua lengkungan vertikal; lengkungan *a* untuk menggabungkan tangen 1 dan 2, dan lengkungan *b* untuk menghubungkan tangen 2 dan 3. Fungsi lengkungan-lengkungan ini adalah menghasilkan perubahan berangsur pada tanjakan dari tangen awal (*belakang*) ke tanjakan pada tangen kedua (*depan*). Karena parabola mempunyai *angka perubahan gradien yang konstan,* maka ideal untuk pelurusan vertikal yang dipakai untuk lalu lintas kendaraan.

Di samping pemakaiannya dalam bidang vertikal pada jalan raya dan jalan baja, parabola juga dipakai dalam pelurusan horisontal pada pekerjaan pertamanan dan proyek lain yang memerlukan lengkungan dengan penampilan menyenangkan dan dapat dipasang dengan pita ukur. Lengkungan-lengkungan parabolik panjang yang dipakai dalam praktek pengukuran jalur lintas hanya berbeda sedikit di tanah dengan lengkungan melingkar yang berjari-jari besar.

Dua jenis dasar lengkungan parabolik, yaitu *bubung* (crest) dan *cekungan* (sag) digambarkan pada Gambar 26-1. Lengkungan *a* adalah sebuah jenis bubung, yang menurut definisi mengalami perubahan dalam gradien yang negatif; yaitu lengkungan membelok ke bawah. Lengkungan *b* adalah sebuah jenis cekungan, di mana perubahan dalam gradien adalah positif dan lengkungan membelok ke atas. Lengkungan vertikal harus dirancang



Gambar 26-1. Garis gradien dan profil tanah sebuah bagian rencana jalan raya.

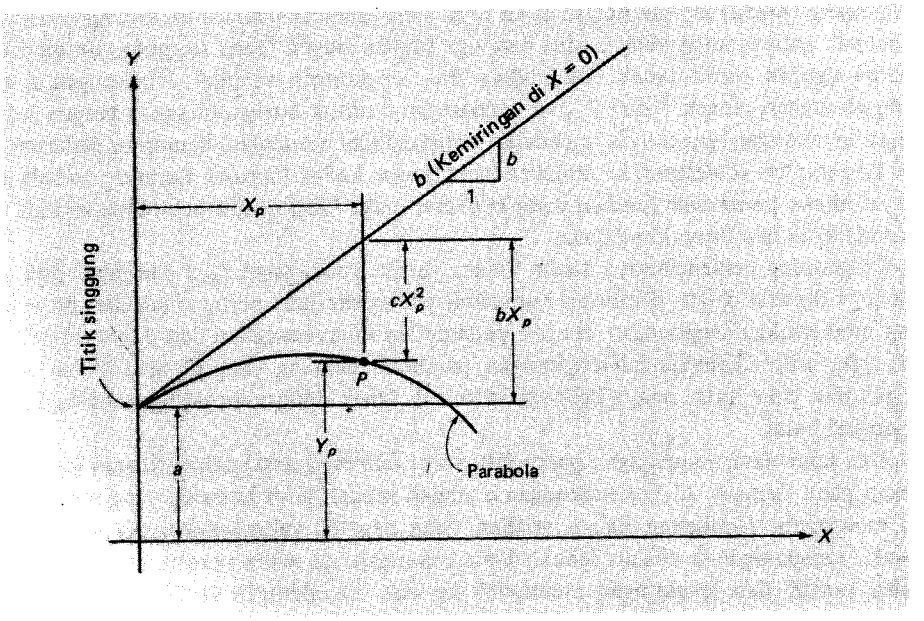
untuk (a) menyesuaikan garis-garis gradien yang dihubungkan, (b) mempunyai panjang yang cukup untuk memenuhi persyaratan-persyaratan yang meliputi angka perubahan gradien maksimum (yang mempengaruhi kenyamanan penumpang kendaraan), dan (c) menghasilkan jarak pandang yang cukup untuk menjalankan kendaraan dengan aman (lihat Paragraf 26-9).

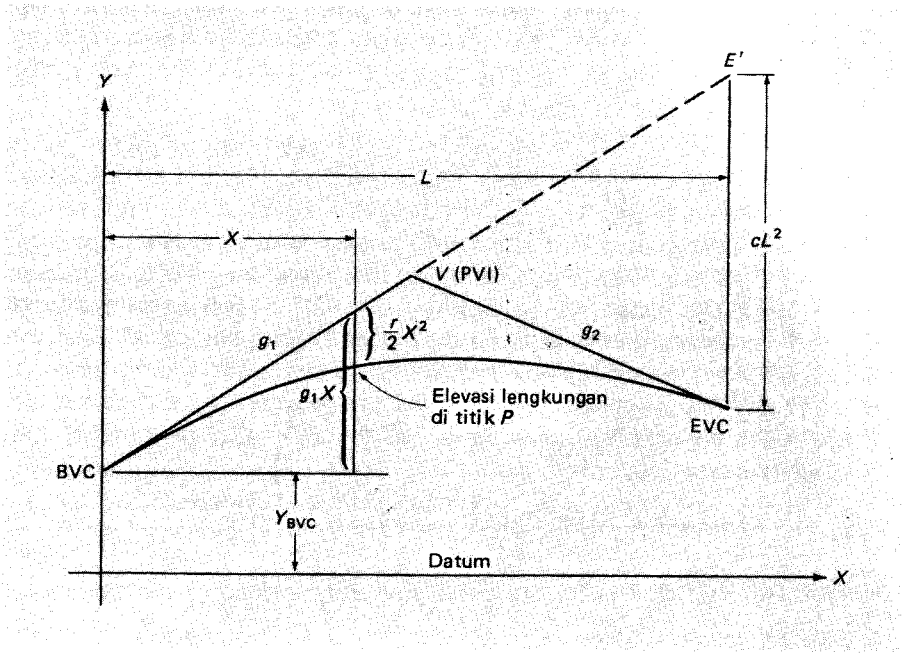
Elevasi pada titik-titik yang dipilih (biasanya stasiun angka bulat atau tengahan) sepanjang lengkungan parabolik dapat dihitung dengan metode *simpangan-tangen* (tangent-offset method) atau *metode gradien-tali-busur* (chord-gradient method). Dalam pembahasan ringkas ini, hanya metode simpangan tangen yang akan ditunjukkan karena sederhana, jelas, mudah dilaksanakan dengan kalkulator dan komputer, dan mengecek sendiri.

Setelah elevasi titik-titik lengkungan dihitung, titik-titik itu dipancang di lapangan untuk pedoman pelaksanaan konstruksi sehingga jalur lintas dapat dibangun sesuai dengan rencana.

26-2. PERSAMAAN UMUM LENGKUNGAN PARABOLIK. Rumus matematis umum sebuah parabola, berdasarkan sebuah sistem koordinat tegaklurus XY, adalah

Gambar 26-2. Istilah-istilah untuk sebuah parabola





Gambar 26-3. Hubungan-hubungan lengkungan parabola.

$$Y_p = a + bX_p + cX_p^2 \tag{26-1}$$

di mana Y_p adalah ordinat di sembarang titik p di parabola yang terletak sejauh X_p dari asal lengkungan, sedangkan a, b dan c adalah tetapan. Gambar 26-2 menunjukkan sebuah parabola dalam sebuah sistem koordinat tegaklurus XY dan menggambarkan letak-letak unsur dalam Pers. (26-1). Perhatikan dari gambar bahwa a adalah ordinat pada awal lengkungan di mana $X = 0$; b adalah kemiringan sebuah garis singgung (tangen) lengkungan di $X = 0$; bX_p adalah perubahan ordinat sepanjang tangen pada jarak X_p, dan $cX_p{}^2$ adalah selisih Y dari tangen (*simpangan tangen*) pada jarak X_p. Bila istilah-istilah a, bX_p dan $cX_p{}^2$ digabung seperti dalam Pers. (26-1) dan ditunjukkan dalam Gambar 26-2, maka dihasilkan Y_p. Untuk lengkungan bubung pada Gambar 26-2, b bertanda aljabar positif dan c adalah bertanda negatif.

26-3. PERSAMAAN LENGKUNGAN PARABOLIK SAMA-TANGEN DALAM TERMINOLOGI PENGUKURAN. Gambar 26-3 menunjukkan sebuah parabola yang menggabungkan dua tangen garis gradien berpotongan. Parabola ini pada dasarnya tepat sama dengan yang ada pada Gambar 26-2, kecuali istilah-istilah yang dipakai adalah yang biasa dipakai oleh para juru-ukur dan insinyur. Dalam gambar, BVC adalah *awal lengkungan vertikal*, kadang-kadang disebut PVC (titik kelengkungan vertikal); V adalah puncak, sering disebut PVI (titik perpotongan vertikal); dan EVC adalah *ujung akhir lengkungan vertikal*, sering disebut juga PVT (titik tangen vertikal). Persen gradien tangen belakang adalah g_1, dan untuk *tangen depan* adalah g_2. Panjang lengkungan L, adalah jarak horisontal (dalam stasiun) dari BVC ke EVC. Lengkungan pada Gambar 26-3 disebut "sama-tangen" karena jarak-jarak horisontal dari BVC ke V dan dari V ke EVC adalah sama, masing-masing sebesar $L/2$. Bukti untuk ini diberikan dalam Paragraf 26-5.

Pada sistem sumbu XY dalam Gambar 26-3, harga-harga X adalah jarak-jarak horisontal, dalam stasiun, diukur dari BVC, dan harga-harga Y adalah elevasi-elevasi, dalam feet (atau meter), diukur dari datum, biasanya permukaan laut. Memakai terminologi ini dalam Pers. (26-1), parabola dapat dinyatakan sebagai:

$$Y = Y_{BVC} + g_1 X + cX^2 \tag{26-2}$$

Persesuaian istilah dalam Pers. (26-2) dan istilah-istilah dalam Pers. (26-1) adalah $a = Y_{BVC}$ (elevasi BVC) dan $bX_p = g_1 X$ (perubahan dalam elevasi sepanjang tangen belakang dengan bertambahnya X). Untuk menyatakan tetapan c pada Pers. (26-2) dalam terminologi pengukuran tanah, anggaplah simpangan tangen dari E′ pada perpanjangan tangen belakang ke EVC dalam Gambar 26-3. Harganya (yang adalah negatif untuk lengkungan bubung yang ditunjukkan) adalah cL^2, di mana L (jarak horisontal dari BVC ke E′) diganti untuk X. Dari gambar, cL^2 dapat dinyatakan sebagai panjang horisontal (dalam stasiun) dan persen gradien sebagai berikut:

$$cL^2 = g_1\left(\frac{L}{2}\right) + g_2\left(\frac{L}{2}\right) - g_1 L \tag{a}$$

Dengan menyelesaikan Pers. (a) untuk tetapan c menghasilkan:

$$c = \frac{g_2 - g_1}{2L} \tag{b}$$

Dengan mensubstitusikan Pers. (b) ke dalam Pers. (26-2) menghasilkan persamaan berikut ini untuk lengkungan vertikal sama-tangen dalam terminologi pengukuran:

$$Y = Y_{BVC} + g_1 X + \left(\frac{g_2 - g_1}{2L}\right) X^2 \tag{26-3}$$

Angka perubahan gradien, r, pada sebuah lengkungan parabolik sama-tangen sama dengan jumlah perubahan gradien dari BVC ke EVC, dibagi panjang L, dalam stasiun, di mana perubahan terjadi, atau:

$$r = \frac{g_2 - g_1}{L} \tag{26-4}$$

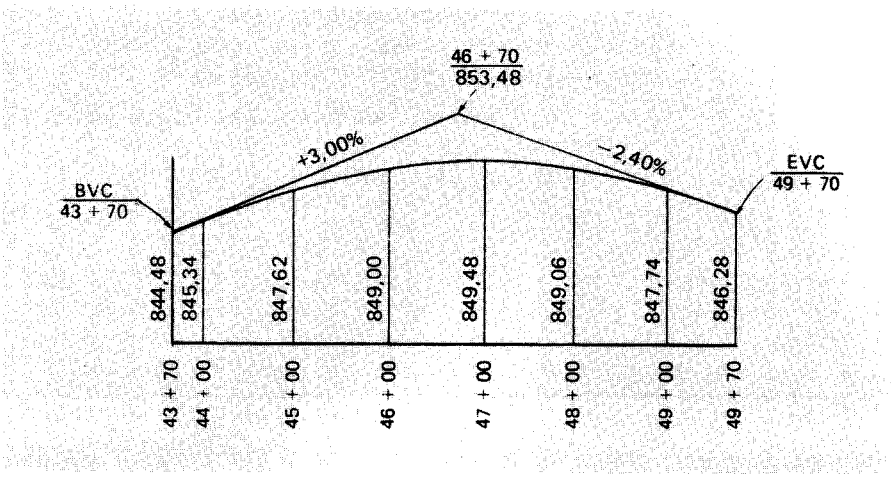
Seperti disebutkan sebelumnya, harga r (yang negatif untuk lengkungan bubung dan positif untuk lengkungan cekungan) adalah sebuah parameter perancangan yang penting karena r ini menentukan kenyamanan penumpang. Untuk memakainya dalam persamaan untuk lengkungan parabolik, Pers. (26-4) disubstitusi dalam Pers. (26-3):

$$Y = Y_{BVC} + g_1 X + \left(\frac{r}{2}\right) X^2 \tag{26-5}$$

Gambar 26-3 menggambarkan bagaimana istilah-istilah Pers. (26-5) bergabung untuk menghasilkan elevasi lengkungan di titik P.

26-4. HITUNGAN LENGKUNGAN-VERTIKAL MEMAKAI PERSAMAAN PARABOLIK

Hitungan-hitungan untuk lengkungan parabolik vertikal biasanya dikerjakan dalam bentuk



Gambar 26-4. Lengkungan bubung Contoh 26-1.

tabel. Contoh berikut ini untuk sebuah lengkungan bubung menggambarkan prosedur-prosedurnya.

CONTOH 26-1

Sebuah gradien g_1 sebesar +3,00% memotong gradien g_2 −2,40% pada sebuah puncak yang stasiun dan elevasinya berturut-turut adalah 46 + 70 dan 853,48. Sebuah lengkungan parabolik sama-tangen sepanjang 600 ft telah dipilih untuk menggabungkan kedua tangen. Hitunglah dan tabelkan lengkungan itu untuk pemancangan pada stasiun-stasiun berangka bulat. (Gambar 26-4 menunjukkan lengkungan itu).

PENYELESAIAN

Dengan Pers. (26-4):

$$r = \frac{-2.40 - 3.00}{6} = -0{,}90\%/\text{stasiun}$$

Dengan menetapkan stasiun-stasiun:

$$\begin{aligned} V &= 46 + 70 \\ -L/2 &= \underline{\ 3 + 00} \\ \text{BVC} &= 43 + 70 \\ +L &= \underline{\ 6 + 00} \\ \text{EVC} &= 49 + 70 \end{aligned}$$

$$\text{elevasi}_{\text{BVC}} = 853.48 - 3.00(3) = 844.48 \text{ ft}$$

Hitungan selanjutnya memakai Pers. (26-5) dan dimasukkan dalam Tabel 26-1.

Pengecekan pada elevasi-elevasi lengkungan diperoleh dengan menghitung selisih-selisih pertama dan kedua antara elevasi-elevasi stasiun angka bulat, seperti ditunjukkan dalam kolom-kolom sebelah kanan pada tabel. Kecuali karena pembulatan, semua selisih kedua (angka perubahan) harus sama. Untuk pertambahan-pertambahan stasiun angka bulat, selisih-selisih kedua sama dengan r; untuk pertambahan setengah-stasiun harga-harga ini sama dengan $r/4$.

TABEL 26-1. CATATAN UNTUK LENGKUNGAN CONTOH 26-1

STASIUN	X	g_1X	$rX^2/2$	ELEVASI LENGKUNGAN	SELISIH PERTAMA	SELISIH KEDUA
49 + 70 (EVC)	6,0	18,00	−16,20	846,28		
49 + 00	5,3	15,90	−12,64	847,74	−1,32	
48 + 00	4,3	12,90	− 8,32	849,06	−0,42	−0,90
47 + 00	3,3	9,90	− 4,90	849,48	0,48	−0,90
46 + 00	2,3	6,90	− 2,38	849,00	1,38	−0,90
45 + 00	1,3	3,90	− 0,76	847,62	2,28	−0,90
44 + 00	0,3	0,90	− 0,04	845,34		
43 + 70 (BVC)	0,0	0,00	0,00	844,48		

Cek: EVC = 853,48 − 2,40(3) = 846,28

Kadang-kadang lebih disukai untuk menghitung elevasi titik tengah lengkungan. Ini dapat dikerjakan memakai $X = L/2$ dalam Pers. (26-5) dan untuk Contoh 26-1, besarnya adalah:

$$Y_{\text{tengah}} = 844{,}48 + 3{,}00(3) - \left(\frac{0{,}90}{2}\right)(3^2) = 849{,}43 \text{ ft}$$

Ini dapat dicek dengan memakai sifat lengkungan parabolik yaitu *titik tengah lengkungan tepat di tengah antara puncak dan titik tengah tali busur panjang* (garis dari BVC ke EVC). Elevasi titik tengah tali-busur panjang (LC) tak lain adalah purata elevasi-elevasi BVC dan EVC, dan untuk Contoh 26-1, besarnya adalah:

$$Y_{\text{titiktengah}}\,\text{LC} = \frac{844{,}48 + 846{,}28}{2} = 845{,}38 \text{ ft}$$

Dengan menggunakan sifat di atas, elevasi tengah-tengah lengkungan untuk Contoh 26-1 adalah:

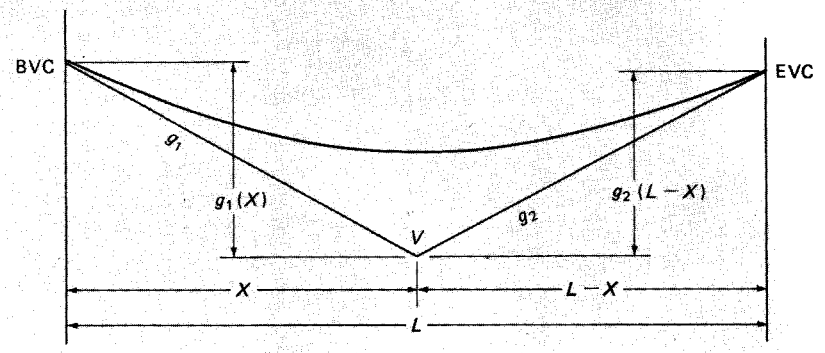
$$Y_{\text{tengah}} = \frac{845{,}38 + 853{,}48}{2} = 849{,}43 \text{ ft (Cocok)}$$

26-5. SIFAT SAMA-TANGEN SEBUAH PARABOLA. Lengkungan yang dinyatakan dengan Pers. (26-3) dan (26-5) telah disebut lengkungan parabolik *sama-tangen,* yang berarti puncaknya terjadi sejauh $X = L/2$ dari BVC. Bukti sifat ini dapat diberikan dengan mudah berdasarkan Gambar 26-5, yang melukiskan sebuah lengkungan cekung. Pada gambar anggaplah jarak horisontal dari BVC ke V adalah harga X yang belum diketahui; jadi, jarak sisa dari V ke EVC adalah $(L - X)$. Dua persamaan dapat ditulis untuk elevasi EVC. Yang pertama, memakai Pers. (26-3) dengan $X = L$, menghasilkan:

$$Y_{\text{EVC}} = Y_{\text{BVC}} + g_1L + \left(\frac{g_2 - g_1}{2L}\right)L^2 \qquad \text{(c)}$$

Yang kedua, dengan menggunakan perubahan-perubahan elevasi yang terjadi sepanjang tangen-tangen, akan menghasilkan:

$$Y_{\text{EVC}} = Y_{\text{BVC}} + g_1X + g_2(L - X) \qquad \text{(d)}$$



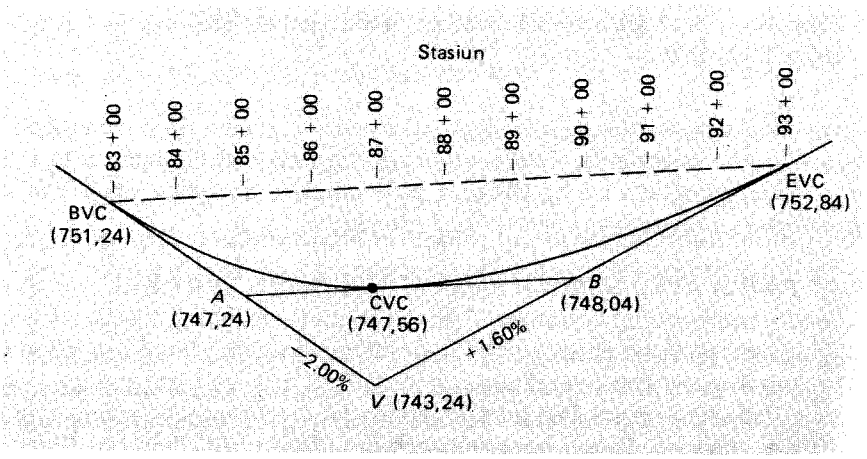
Gambar 26-5 Pembuktian sifat sama-tangen pada parabola.

Dengan mempersamakan Pers. (c) dan (d) dan diselesaikan, $X = L/2$. Jadi, jarak BVC ke V sama dengan jarak V ke EVC – karena itu, istilahnya adalah *lengkungan parabolik sama-tangen.*

26-6. HITUNGAN-HITUNGAN UNTUK SEBUAH LENGKUNGAN BEDA-TANGEN. Sebuah lengkungan vertikal beda-tangen tak lain adalah sebuah gabungan sepasang lengkungan-lengkungan sama-tangen, di mana EVC lengkungan pertama adalah BVC yang kedua. Titik ini disebut CVC, yaitu titik *kelengkungan vertikal majemuk* (compound vertical curvature). Pada Gambar 26-6, sebuah gradien 2,00% memotong sebuah gradien a + 1,60% pada stasiun 87 + 00 dan elevasi 743,24. Sebuah lengkungan vertikal 400-ft akan direntangkan ke belakang dari puncak, dan sebuah lengkungan 600-ft diukurkan ke depan menyesuaikan diri dengan keadaan tanah.

Dalam melaksanakan hitungan-hitungan untuk lengkungan jenis ini, hubungkan titik-titik tengah tangen kedua lengkungan, stasiun-stasiun 85 + 00 dan 90 + 00, untuk memperoleh garis *AB.* Hitung elevasi *A* dan *B* dan dengan keduanya, hitung gradien *AB* dengan

Gambar 26-6. Lengkungan vertikal beda-tangen.



jalan membagi selisih elevasi antara B dan A dengan jarak (dalam stasiun-stasiun) yang memisahkan kedua titik ini. Dari gradien AB, tentukan elevasi CVC.

Sekarang hitung dua lengkungan vertikal, sebuah dari BVC sampai CVC dan lainnya dari CVC sampai EVC, dengan cara-cara pada Paragraf 26-5. Karena kedua lengkungan sama-sama menyinggung AB di titik CVC, maka keduanya akan saling singgung dan membentuk sebuah lengkungan yang halus.

CONTOH 26-2

Dari gambaran bentuk pada Gambar 26-6, hitunglah dan tabelkan catatan-catatan yang perlu untuk memancang lengkungan vertikal tangen-tak-sama pada stasiun-stasiun angka bulat.

PENYELESAIAN

1. Hitung elevasi-elevasi BVC, EVC, A, B, dan CVC, dan gradien AB.

$$\text{elev BVC} = 743{,}24 + 4(2{,}00) = 751{,}24 \text{ ft}$$
$$\text{elev } A = 743{,}24 + 2(2{,}00) = 747{,}24 \text{ ft}$$
$$\text{elev EVC} = 743{,}24 + 6(1{,}60) = 752{,}84 \text{ ft}$$
$$\text{elev } B = 743{,}24 + 3(1{,}60) = 748{,}04 \text{ ft}$$
$$\text{gradien } AB = \left(\frac{748{,}04 - 747{,}24}{5}\right) = +0{,}16\%$$
$$\text{elev CVC} = 747{,}24 + 2(0{,}16) = 747{,}56 \text{ ft}$$

   Elevasi-elevasi ini ditunjukkan pada Gambar 26-6.

2. Dalam menghitung lengkungan pertama, gradien AB akan menjadi g_2 dalam rumus-rumus, dan untuk lengkungan kedua akan sama dengan g_1. Angka-angka perubahan gradien untuk kedua lengkungan, dengan Pers. (26-4) adalah:

$$r_1 = \frac{0.16 - (-2.00)}{4} = +0{,}54\%/\text{stasiun}$$

$$r_2 = \frac{1.60 - 0.16}{6} = +0.24\%/\text{stasiun}$$

3. Persamaan (26-5) sekarang diselesaikan dalam bentuk tabel dan hasilnya ditulis dalam Tabel 26-2.

Hitungan lengkungan-vertikal itu sendiri amat sederhana, hampir tidak merupakan tantangan bagi komputer elektronik. Tetapi bila lengkungan vertikal digabung dengan lengkungan horisontal, spiral dan miring tikungan pada hitungan koordinat simpangan jalan raya yang kompleks, program yang dibuat dapat menghemat waktu.

26-7. TITIK TINGGI ATAU RENDAH PADA LENGKUNGAN VERTIKAL. Untuk menyelidiki kondisi pembuangan air, rongga di bawah struktur melintang di atas, tutup pada pipa-pipa dan jarak pandang, boleh jadi perlu untuk menentukan elevasi dan lokasi titik rendah (atau tinggi) pada sebuah lengkungan vertikal. Pada titik rendah atau tinggi, sebuah garis singgung (tangen) pada lengkungan akan horisontal dan lerengnya sama dengan nol. Berdasarkan kenyataan ini, dengan mengambil turunan (differensial) Pers. (26-3) dan me-

TABEL 26-2. CATATAN-CATATAN UNTUK LENGKUNGAN CONTOH 26-2

STASIUN	X	g_1X	$rX^2/2$	CURVE ELEVATION	SELISIH PERTAMA	SELISIH KEDUA
93 + 00 (EVC)	6	0,96	4,32	752,84 (Cek)		
92 + 00	5	0,80	3,00	751,36	1,48	0,24
91 + 00	4	0,64	1,92	750,12	1,24	0,24
90 + 00	3	0,48	1,08	749,12	1,00	0,24
89 + 00	2	0,32	0,48	748,36	0,76	0,24
88 + 00	1	0,16	0,12	747,84	0,52	0,24
87 + 00 (CVC)	4	−8,00	4,32	747,56 (Cek)	0,28	
86 + 00	3	−6,00	2,43	747,67	−0,11	0,54
85 + 00	2	−4,00	1,08	748,32	−0,65	0,54
84 + 00	1	−2,00	0,27	749,51	−1,19	0,54
83 + 00 (BVC)	0	0,00	0,00	751,24	−1,73	

nyamakannya dengan nol, rumus berikut ini mudah dijabarkan:

$$X = \frac{g_1 L}{g_1 - g_2} \tag{26-6}$$

di mana X adalah jarak dalam stasiun dari BVC ke titik tinggi atau rendah pada lengkungan. g_1, gradien tangen melalui BVC, g_2 gradien tangen melalui EVC, dan L panjang lengkungan, dinyatakan dalam stasiun.

Jika g_2 digantikan untuk g_1, dalam pembilang Pers. (26-6), jarak X diukur kembali dari EVC.

CONTOH 26-3

Hitunglah stasiun dan elevasi titik tinggi lengkungan dalam Contoh 26-1.

Dengan Pers. (26-6):

$$X = \frac{3{,}00 \times 6}{3{,}00 - (-2{,}40)} = 3{,}3333 \text{ stasiun}$$

Kemudian stasiun titik tinggi adalah:

$$\text{sta}_{\text{tinggi}} = 43 + 70 + (3 + 33{,}33) = 47 + 03{,}33$$

Dengan Pers. (26-3), elevasi pada titik ini adalah:

$$844{,}48 + 3{,}00(3{,}3333) + \frac{-2{,}40 - 3{,}00}{2(6)}(3{,}3333)^2 = 849{,}48$$

Perhatikan bahwa dalam memakai Pers. (26-6) dan semua persamaan lainnya pada bab ini, harus diterapkan tanda aljabar yang benar terhadap gradien-gradien g_1 dan g_2.

26-8. MERANCANG LENGKUNGAN LEWAT SEBUAH TITIK TERTENTU. Masalah perancangan sebuah lengkungan parabolik agar melewati sebuah titik stasiun tetap dan elevasi tertentu sering dijumpai dalam praktek. Misalnya dapat terjadi di mana garis gradien baru harus bersambung dengan persimpangan jalan baja atau jalan raya yang ada, atau harus di-

pertahankan sebuah jarak vertikal minimum antara garis gradien dan utilitas bawah tanah atau bangunan pengalir air.

Diberikan stasiun dan elevasi PVI dan berturut-turut gradien g_1 dan g_2 untuk tangen belakang dan depan, masalahnya terdiri dari hitungan panjang lengkungan yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan yang ditentukan. Hal ini dipecahkan dengan jalan substitusi besaran-besaran yang diketahui ke dalam Pers. (26-3) dan mereduksi persamaan menjadi pangkat dua yang hanya mengandung L sebagai yang tak diketahui. Ada dua harga yang akan memenuhi persamaan kuadrat itu, namun yang benar akan jelas terlihat.

CONTOH 26-4

Dalam Gambar 26-7, gradien $g_1 = -4{,}00\%$ dan $g_2 = +3{,}80\%$ bersambung di stasiun PVI 52 + 00 dan elevasi 1261,50. Rancanglah sebuah lengkungan parabolik agar bersambung dengan simpangan jalan baja yang ada pada stasiun 53 + 50 dan elevasi 1271,20.

PENYELESAIAN

Berdasarkan gambar, dan dengan memasukkan besaran yang diketahui ke dalam pers. (26-3), diperoleh persamaan berikut:

$$1271{,}20 = [1261{,}50 + 4{,}00(L/2)] + [-4{,}00(L/2 + 1{,}5)] + \left[\frac{3{,}80 + 4{,}00}{2L}(L/2 + 1.5)^2\right]$$

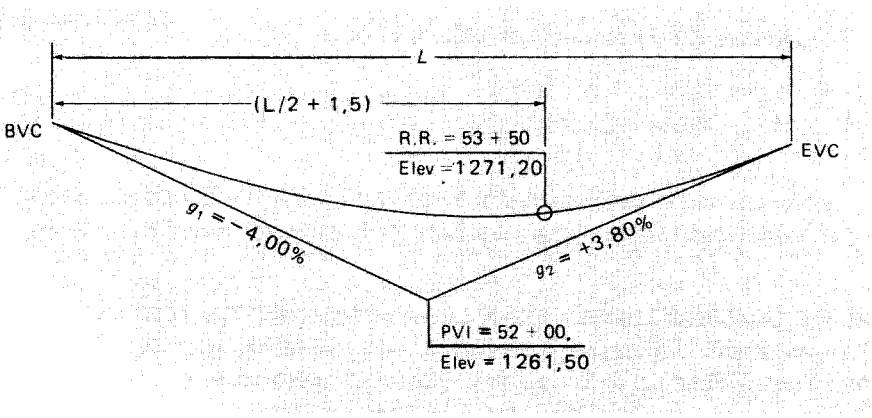
Dalam persamaan di atas, harga X untuk simpangan jalan baja adalah $(\frac{L}{2} + 1{,}5)$, dan suku-suku dalam kurung berturut-turut adalah Y_{BVC}, g_1X, dan $(r/2)X^2$. Reduksi menjadi persamaan kuadrat:

$$0{,}975L^2 - 9{,}75L + 8{,}775 = 0$$

Penyelesaian untuk L menghasilkan 9,1152 stasiun. Untuk mengecek penyelesaian, L = 9,1152 stasiun, dan X = (9,1152/2 + 1,5) stasiun dipakai dalam Pers. (26-3) untuk menghitung elevasi di stasiun 53 + 50. Harga 1271,20 memberikan kecocokan hitungan.

26-9. JARAK PANDANG. Rumus untuk jarak pandang S dengan kendaraan ada di sebuah lengkungan vertikal dan S lebih pendek daripada L adalah

Gambar 26-7. Merancang sebuah lengkungan parabolik melalui sebuah titik tertentu.



$$S^2 = \frac{8Lh}{g_1 - g_2} \qquad (26\text{-}7)$$

di mana S adalah jarak pandang, dinyatakan dalam stasiun; L panjang lengkungan, dalam stasiun; dan h adalah tinggi mata pengemudi dan obyek yang dilihat ada di atas jalan raya (berdasarkan rekomendasi American Association of State Highway and Transportation Officials, besarnya adalah 3,75 ft.)

Kemudian untuk lengkungan bubung yang panjangnya 800 ft, dan gradiennya +2,00% dan −1,60%, jika h = 3,75 ft,

$$S = \sqrt{\frac{8 \times 8 \times 3{,}75}{2{,}00 - (-1.60)}} = 8{,}16 \text{ stasiun} = 816 \text{ ft}$$

Karena jarak ini adalah lebih besar daripada panjang lengkungan jadi tidak sesuai dengan anggapan yang dipakai dalam penjabaran rumus, harus dipakai persamaan lain.

Jika kendaraan tidak pada lengkungan tetapi pada tangennya, S lebih besar daripada L, dan rumus jarak pandang yang dapat dipakai adalah:

$$S = \frac{L}{2} + \frac{4h}{g_1 - g_2} \qquad (26\text{-}8)$$

Jadi dalam contoh terdahulu, dengan h = 3,75 ft,

$$S = \frac{8}{2} + \frac{4 \times 3{,}75}{2{,}00 - (-1{,}60)} = 8{,}17 \text{ stasiun}$$

Untuk sebuah gabungan lengkungan horisontal dan vertikal, jarak pandang adalah harga yang lebih kecil dari kedua harga yang dihitung sendiri-sendiri bagi masing-masing lengkungan. (Lihat Paragraf 25-14 untuk pembahasan jarak-pandang horisontal).

26-10. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan khas yang dibuat dalam hitungan-hitungan untuk lengkungan vertikal termasuk yang berikut:

1. Kesalahan hitung.
2. Kelalaian memperhitungkan tanda aljabar yang benar untuk g_1 dan g_2.
3. Mengurangkan simpangan dari tangen untuk lengkungan cekungan, atau menambahkannya pada lengkungan bubung.
4. Kelalaian mengecek selisih kedua.

SOAL-SOAL

26-1. Mengapa dipakai parabola untuk lengkungan vertikal dan bukan lengkungan melingkar (busur lingkaran)?

26-2. Apa yang dimaksud dengan angka perubahan gradien pada lengkungan vertikal, dan mengapa itu penting?

Tabelkan elevasi-elevasi stasiun untuk sebuah lengkungan parabolik sama-tangen untuk data yang diberikan dalam Soal 26-3 sampai dengan 26-6. Buatlah pengecekan dengan selisih-selisih kedua.

	Sambung Gradien I	Gradien II	Pada Stasiun	Elevasi (ft)	Panjang Lengkungan	Pemancangan pada
26-3.	+3,50%	−1,50%	60 + 50	850,25	1000 ft	Stasiun angka bulat
26-4.	−2,60%	+1,30%	36 + 00	574,80	1200 ft	Stasiun angka bulat
26-5.	−2,70%	1,00%	PVI = 98 + 70	310,00	350 ft	Stasiun-tengahan
26-6.	−6,00%	−1,50%	PVI = 50 + 00	900,00	800 ft	Stasiun-tengahan

Keadaan lapangan mengharuskan sebuah lengkungan jalan raya untuk melewati sebuah titik tertentu. Hitunglah sebuah lengkungan vertikal sama-tangen yang sesuai dan elevasi-elevasi stasiun angka bulat untuk Soal 26-7 sampai dengan 26-9.

	Gradien g_1	g_2	Elevasi PVI	Pada Stasiun	Titik Tertentu Pada Stasiun	Elevasinya
26-7.	−3,50%	+0,50%	800,00 ft	26+ 00	26 + 00	803,00 ft
26-8.	−2,50%	+1,50%	1220,00 ft	15 + 00	14 + 00	1227,00 ft
26-9.	+5,00%	+1,50%	730,00 ft	83 + 00	84 + 00	729,00 ft

26-10. Sebuah gradien −1,00% bersambung dengan gradien +0,50% pada stasiun 64 + 00 dan elevasi 900,00 ft. Gradien +0,50% bersambung dengan gradien +2,50% pada stasiun 67 + 00. Hitunglah dan tabelkan catatan-catatan sebuah lengkungan vertikal, pada tengahan-stasiun, yang melewati titik tengah gradien 0,50%.

Hitunglah dan tabelkan elevasi-elevasi stasiun angka bulat untuk sebuah lengkungan vertikal tangen-tak-sama (beda-tangen) untuk menyesuaikan dengan persyaratan-persyaratan dalam Soal 26-11 sampai dengan 26-14.

	Gradien g_1	g_2	Pada Stasiun	Elevasi	Panjang Lengkungan Pertama	Lengkungan Kedua
26-11.	+4,00%	−2,00%	50 + 00	1200,00 ft	600 ft	400 ft
26-12.	+1,50%	+5,00%	PVI = 27 + 00	1300,00 ft	800 ft	400 ft
26-13.	+4,00%	−3,00%	PVI = 42 + 00	822,24 ft	400 ft	600 ft

26-14. Sebuah gradien −0,50% bersambung gradien +4,00% pada stasiun 67 + 00 dan elevasi 466,80 ft. Panjang lengkungan pertama adalah 200 ft, lengkungan kedua 600 ft.

26-15. Jelaskan mengapa selisih-selisih-kedua elevasi lengkungan adalah sama pada lengkungan parabolik.

26-16. Dalam pemasangan gradien awal pada sebuah jalur jalan raya, pertimbangan apa yang harus diberikan terhadap adanya lengkungan vertikal yang belakangan?

26-17. Mengapa lengkungan parabolik biasanya tak dipakai untuk lengkungan jalan raya horisontal?

26-18. Tulislah sebuah program komputer untuk hitungan lengkungan vertikal.

26-19. Kapankah merupakan hal yang menguntungkan memakai lengkungan vertikal tangen-tak-sama sebagai pengganti lengkungan sama-tangen?

26-20. Faktor-faktor apakah yang mempengaruhi jarak minimal yang diperlukan (panjang tangen) antara seragkaian lengkungan vertikal berbalik?

26-21. Sebuah lubang pengawas berjarak 16 ft dari sumbu jalan selebar 40-ft yang mempunyai puncak (crown) parabolik 4 in. Sumbu jalan mempunyai elevasi 721,85 ft. Berapa elevasi tutup lubang pengawas?

26-22. Sebuah jalan yang lebarnya 36-ft mempunyai puncak parabolik rata-rata dari sumbu ke tepi $\frac{1}{4}$ in/ft. Berapa turunnya permukaan dari sumbu ke sebuah titik 4 ft dari tepi?

26-23. Tentukan titik tinggi lengkungan dalam Soal 26-3.
26-24. Hitunglah titik rendah lengkungan dalam Soal 26-4.
26-25. Hitunglah jarak-pandang yang ada dalam Soal 26-3.
26-26. Berapakah jarak pandang bagi pengemudi dalam Soal 26-9?
26-27. Dalam menentukan jarak-jarak pandang pada lengkungan vertikal, bagaimana perancang menentukan apakah mobil atau obyek berada pada lengkungan atau tangen (garis singgung)?

Berapakah panjang minimum lengkungan vertikal agar diperoleh jarak pandang yang diperlukan untuk keadaan-keadaan yang diberikan dalam Soal 26-28 sampai dengan 26-30?

26-28. Gradien-gradien +3,40% dan −2,40%. Jarak-pandang 800 ft.
26-29. Sebuah lengkungan bubung dengan gradien-gradien +4,80% dan −3,40%. Jarak-pandang 800 ft.
26-30. Jarak-pandang 1200 ft, gradien-gradien +0,50% dan −1,20%.

DAFTAR PUSTAKA

Colcord, J.E. 1962. "Teori Lengkungan Vertikal." *Surveying and Mapping* 22(no. 4): 589.

Hickerson, T.F. 1967. *Lokasi dan Perancangan Jalur Lintas,* edisi ke-5. New York: McGraw-Hill.

Lamont, C.M. 1960. "Metode Mengecek-Sendiri pada Hitungan Elevasi Lengkungan." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 86(no. SU1): 1.

Meyer, C.F., dan D.W. Gibson. 1980. *Pengukuran dan Perancangan Jalur Lintas,* edisi ke-5. New York: Harper & Row.

Vreeland, R.P. 1968. "Parabola Vertikal Tak-Simetris." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 94(no. SU1): 61.

27 VOLUME

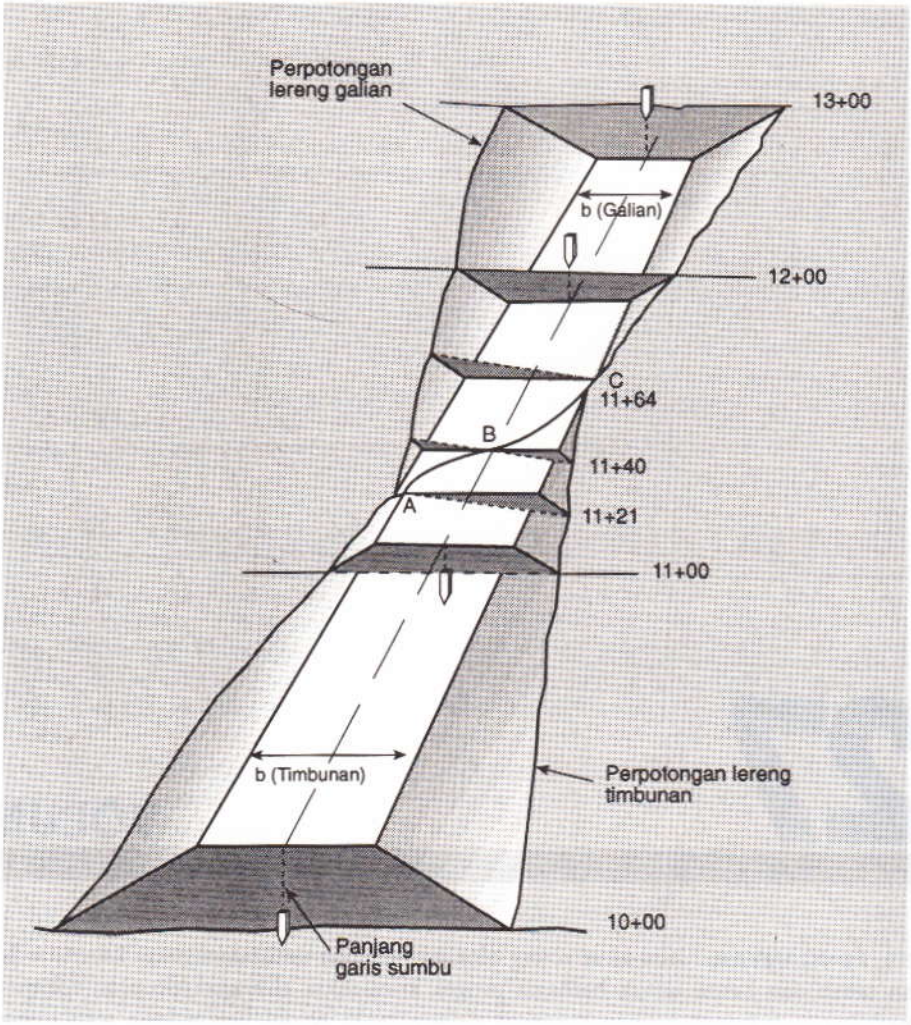
27-1. PENGANTAR. Juru-ukur sering diminta bertugas untuk mengukur kuantitas pekerjaan tanah dan beton untuk berbagai proyek konstruksi. Hitungan-hitungan volume juga diperlukan untuk menentukan kapasitas gudang, tanki, waduk dan gedung, serta mengecek persediaan batu bara, kerikil dan material lain.

Satuan volume adalah sebuah kubus dengan rusuk panjang satuan. Feet kubik, yard kubik dan meter kubik dipakai dalam hitungan pengukuran-tanah, walaupun yard kubik adalah yang paling umum dalam pekerjaan tanah: $1\ yd^3 = 27\ ft^3$; $1\ m^3 = 35{,}315\ ft^3$.

27-2. METODE-METODE PENGUKURAN VOLUME. Pengukuran volume secara langsung jarang dikerjakan dalam pengukuran tanah, karena sulit untuk menerapkan dengan sebenarnya sebuah satuan terhadap material yang terlibat. Sebagai gantinya dilakukan pengukuran tak langsung. Untuk memperolehnya dilakukan pengukuran garis dan luas yang mempunyai kaitan dengan volume yang diinginkan.

Ada tiga sistem utama yang dipakai yaitu: (1) metode tampang melintang, (2) metode luas-satuan atau lubang-galian-sumbang (borrow-pit), dan (3) metode luas-garis-tinggi.

27-3. METODE TAMPANG (IRISAN) MELINTANG (CROSS SECTION METHOD). Metode tampang melintang dipakai hampir khusus untuk menghitung volume pada proyek-proyek konstruksi yang memanjang misalnya jalan raya, jalan baja dan kanal (saluran). Dalam prosedur ini, setelah sumbu diberi pancang, profil tanah yang disebut tampang melintang dibuat (tegaklurus pada sumbu), biasanya dengan selang 50 atau 100 ft. Pem-

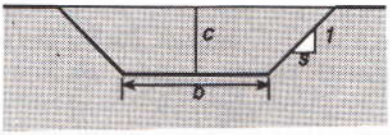


Gambar 27-1. Tampang jalan menggambarkan penggalian (galian, cut) dan penimbunan tanah (timbunan, fill).

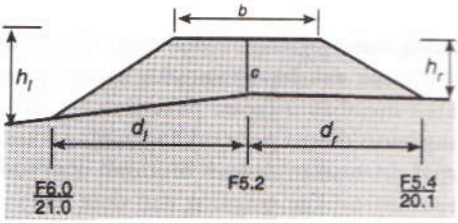
buatan tampang melintang terdiri atas pengukuran elevasi-elevasi tanah dan jaraknya yang bersangkutan secara ortogonal ke kiri dan ke kanan sumbu. Pembacaan-pembacaan harus diambil di sumbu, titik tinggi dan rendah, dan lokasi-lokasi di mana perubahan lereng terjadi untuk menentukan dengan teliti profil tanah. Ini dapat dilaksanakan di lapangan memakai sebuah alat sipat datar, rambu sipat datar dan pita ukur. Pada Gambar D-10 terlihat serangkaian catatan lapangan untuk pembuatan tampang melintang.

Banyak pekerjaan lapangan yang sebelumnya terlibat dalam pembuatan sumbu awal, memperoleh data tampang-melintang, dan membuat pancang-lereng dan pengukuran lain pada pengukuran jalur lintas yang panjang, sekarang sedang dikerjakan dengan lebih efisien memakai fotogrametri. Dalam bab ini tidak ada maksud membahas metode dengan fotogrametri, tetapi akan disajikan secara ringkas prosedur-prosedur dasar lapangan dan kantor untuk menentukan dan menghitung volume. Bab 28 membicarakan masalah fotogrametri.

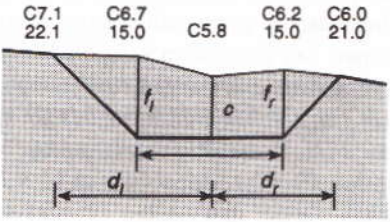
Setelah diambil tampang-tampang melintang, maka dapat digambar, dan *mal-acuan rencana* (garis besar penggalian atau penimbunan yang direncanakan) ditumpangkan pada



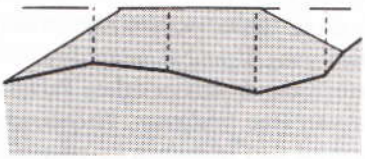
Tampang datar (level section)
Luas = $c(b+sc)$
(a)



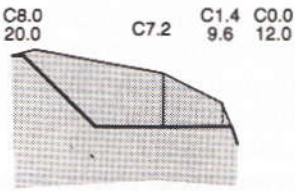
Tampang tiga-tingkat
(Three-level section)
Luas = $\frac{c(d_l+d_r)}{2} + \frac{b(h_l+h_r)}{4}$
(b)



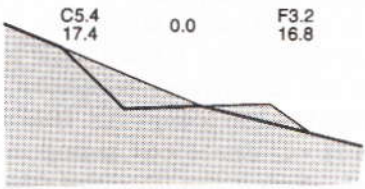
Tampang lima-tingkat
(Five-level section)
Luas = $\frac{cb + f_l d_r + f_r d_l}{2}$
(c)



Tamoang tak beraturan (Irregular section)
Luas dihitung dengan segitiga,koordinat atau planimeter
(d)



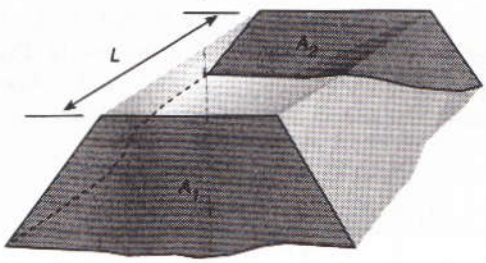
Tampang transisi
(Transition section)
(e)



Tampang lereng bukit pada galian dan timbunan
(Side-hill section in cut and fill)
(f)

Gambar 27-2. Tampang-tampang pekerjaan tanah

Gambar 27-3. Volume dengan metode luas-ujung-purata



masing-masing gambar. Mal-acuan dibuat dari karton atau plastik membentuk sebuah pola lebar dasar dan lereng samping yang diperlukan, untuk galian dan timbunan dapat dipakai untuk membantu dalam pekerjaan ini. Ini menetapkan irisan penggalian atau penimbunan yang harus dibuat pada masing-masing stasiun. Luas irisan (tampang) ini, disebut *luas ujung*, dapat ditentukan dengan hitungan atau hasil planimeter. Sebagai prosedur lain, luas ujung dapat ditentukan langsung dari data tampang melintang lapangan dan informasi rancangan. Dari luas-luas ujung, volume dapat dihitung dengan rumus *luas-ujung-purata* atau *rumus prismoidal*. Keduanya dibicarakan belakangan dalam bab ini.

Gambar 27-1 melukiskan sebagian konstruksi jalan raya yang direncanakan dan menggambarkan beberapa butir yang baru saja dibahas. Pancang-pancang sumbu terlihat sudah terpasang, dan menandai lokasi-lokasi di mana tampang melintang diambil, dalam hal ini pada stasiun-stasiun angka bulat. Luas-luas ujung, berdasarkan garis gradien yang direncanakan, ukuran lebar jalan, dan lereng-lereng penimbunan dan penggalian yang dipilih, ditempatkan saling tindih pada masing-masing stasiun yang digambar dengan agak gelap. Luas-luas irisan yang digambar gelap ditentukan, sesudah mana volume dihitung dengan memakai rumus yang diberikan dalam Paragraf 27-5 atau 27-8. Perhatikan dalam gambar bahwa penimbunan atau *timbunan*, direncanakan dari stasiun 10 + 00 sampai dengan 11 + 21, sebuah transisi dari timbunan ke penggalian atau *galian*, terjadi dari stasiun 11 + 21 sampai 11 + 64, dan galian diperlukan dari stasiun-stasiun 11 + 64 sampai dengan 13 + 00.

27-4. JENIS-JENIS IRISAN (TAMPANG) MELINTANG. Jenis-jenis tampang melintang yang biasa dipakai pada pengukuran jalur lintas ditunjukkan pada Gambar 27-2. Pada tanah datar *irisan (tampang) datar* (a) adalah yang sesuai. *Tampang tiga-tingkat* (b) biasanya dipakai di mana keadaan tanah biasa. Topografi yang bergelombang mungkin memerlukan tampang lima-tingkat, (c), atau lebih praktis sebuah tampang tak beraturan, (d). Tampang transisi, (e), dan tampang lereng-bukit, (f), terjadi dalam perubahan dari galian ke timbunan dan pada lokasi lereng bukit. Dalam Gambar 27-1, tampang transisi terjadi pada stasiun-stasiun 11 + 21 dan 11 + 64, sedangkan tampang lereng bukit ada di 11 + 40.

Lebar basis b atau lebar jalan akhir ditentukan oleh persyaratan proyek. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 27-1, ini biasanya lebih lebar pada galian daripada di timbunan agar tersedia tempat untuk parit pembuangan air. Lereng samping s [ukuran horisontal yang diperlukan untuk satu satuan kenaikan vertikal dan digambarkan pada Gambar 27-2(a)] tergantung pada jenis tanah yang dijumpai. Lereng samping pada timbunan adalah lebih mendatar (landai) daripada lereng pada galian di mana tanah tetap seperti apa adanya (tidak dipindahkan).

Lereng galian 1 horisontal dibanding 1 vertikal, dan lereng timbunan $1\frac{1}{2}$ dibanding 1 mungkin cukup baik untuk tanah liat biasa, tetapi biasa dibuat pada penimbunan 2 dibanding 1 dan pada penggalian $1\frac{1}{2}$ dibanding 1. Bahkan perbandingan yang lebih landai boleh jadi diperlukan – sebuah galian di wilayah Terusan Panama dibuat 13 dibanding 1 – tergantung pada jenis tanah, curah hujan dan faktor-faktor lain.

Rumus-rumus untuk luas tampang mudah dijabarkan dan dituliskan di samping beberapa sketsanya pada Gambar 27-2.

27-5. RUMUS LUAS-UJUNG-PURATA (AVERAGE-END-AREA FORMULA). Gambar 27-3 melukiskan konsepsi hitungan volume dengan metode luas-ujung-purata. Pada gambar A_1 dan A_2 adalah luas-luas ujung pada dua stasiun terpisah oleh jarak horisontal L. Volume antara dua stasiun sama dengan purata luas ujung dikalikan jarak horisontal L di antara keduanya. Jadi,

$$V_e = \frac{A_1 + A_2}{2} \times \frac{L}{27} \text{ yd}^3 \qquad (27\text{-}1)$$

di mana V_e adalah volume luas-ujung-purata, dalam yard kubik, L dengan feet, dan A_1 serta A_2 dalam feet persegi. Jika L adalah 100 ft seperti untuk stasiun angka bulat, Pers. (27-1) menjadi:

$$V_e = 1{,}85(A_1 + A_2) \qquad (27\text{-}2)$$

Persamaan (27-1) dan (27-2) adalah pendekatan dan memberikan hasil yang pada umumnya sedikit lebih besar daripada volume prismoidal yang sebenarnya (lihat Paragraf 27-8). Rumus-rumus ini dipakai dalam praktek karena kesederhanannya. Ketelitian dapat dinyatakan dengan jalan mengambil L lebih pendek antara tampang-tampang. Bila tanah tak beraturan, tampang melintang harus diambil lebih rapat.

CONTOH 27-1

Hitung volume penggalian antara stasiun 24 + 00, dengan luas ujung 711 ft^2 dan stasiun 25+00 dengan luas ujung 515 ft^2.

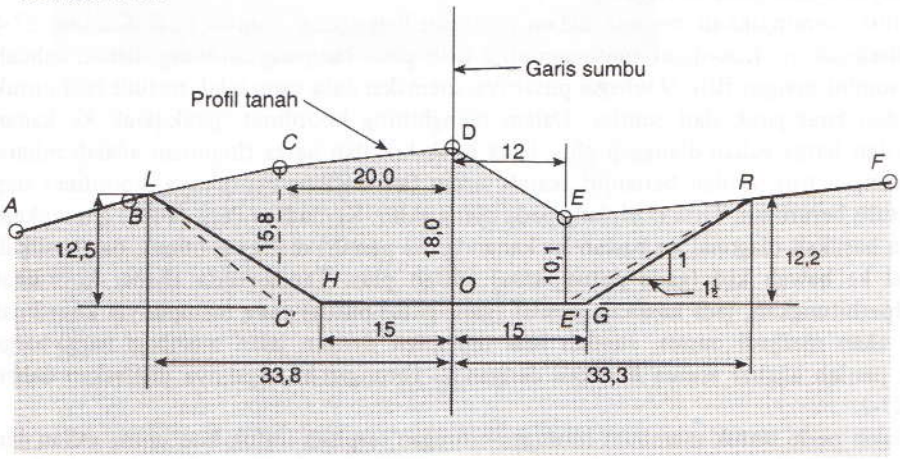
Dengan Pers. (27-2):

$$V = 1{,}85(A_1 + A_2) = 1{,}85(711 + 515) = 2268 \text{ yd}^3$$

27-6. MENENTUKAN LUAS UJUNG. Luas ujung dapat ditentukan dengan secara grafis atau dengan hitungan. Dalam metode grafik, tampang melintang dan mal-acuan digambar dengan skala pada kertas kisi (kertas mm); kemudian jumlah bujur sangkar kecil dalam tampang dapat dihitung dan diubah jadi luas, atau luas dalam batas tampang diukur menggunakan planimeter. Prosedur-prosedur hitungan terdiri atas pembagian tampang menjadi bentuk sederhana seperti segitiga dan jajaran-genjang kemudian dihitung dan dijumlah luasnya, atau memakai rumus koordinat. Keduanya dibicarakan di bawah.

27-6.1. LUAS-UJUNG DENGAN BENTUK SEDERHANA. Untuk menggambarkan prosedur-prosedur hitungan luas ujung dengan bentuk-bentuk sederhana seperti segitiga atau jajaran-genjang, anggaplah petikan catatan lapangan berikut ini berlaku untuk tampang melintang dan luas ujung terlihat pada Gambar 27-4.

Gambar 27.4.



TI = 879,29

		867,3	870,9	874,7	876,9	869,0	872,8
24 + 00	Lt	12,0	8,4	4,6	2,4	10,3	6,5
		50	36	20	Sumbu	12	50

Dalam petikan ini, angka bagian atas adalah elevasi yang diperoleh dengan mengurangkan pembacaan rambu (angka tengah) dari TI alat sipat datar. Angka baris bawah sekali adalah jarak-jarak dari sumbu, mulai dari kiri. Misalnya perencanaan memerlukan muka jalan datar selebar 30-ft, lereng galian $1\frac{1}{2}$: 1 dan elevasi tanah bawah jalan pada stasiun 24 + 00 adalah 858,9. Sebuah mal-acuan yang sesuai ditumpangkan di atas tampang melintang yang telah digambar dalam Gambar 27-4. Mengurangkan elevasi tanah bawah jalan (subgrade) dari elevasi-elevasi tampang melintang di *C*, *D* dan *E* menghasilkan ordinat galian yang dibutuhkan pada lokasi-lokasi itu. Elevasi-elevasi ke samping dari sumbu ke *perpotongan lereng* (slope intercept) di *L* dan *R* harus diskala dari gambar atau dihitung. Misalnya telah diskala (metode-metode untuk menghitungnya diberikan dalam Paragraf 27-7), tabel jarak dari sumbu dan ordinat galian diperlukan di masing-masing titik ke elevasi tanah bawah jalan berikut ini dibuat:

24 + 00	0	C 12,5	C 15,8	C 18,0	C 10,1	C 12,2	0	C = galian
	15	33,8	20	0	12	33,3	15	

Angka-angka di atas garis (didahului huruf *C*) adalah ordinat galian dalam feet; angka-angka di bawah garis adalah jarak-jarak ke luar dari sumbu. Timbunan dinyatakan dengan huruf *F*. Memakai *C* pengganti plus untuk galian, dan *F* pengganti minus untuk timbunan, menghilangkan kekacauan.

Dari ordinat galian dan jarak-jarak dari sumbu yang ditunjukkan, luas tampang melintang dalam Gambar 27-4 dihitung dengan menjumlah luas-luas segitiga dan jajaran-genjang masing-masing. Sebuah daftar hitungan diberikan dalam Tabel 27-1.

27-6.2. LUAS UJUNG DENGAN KOORDINAT. Metode koordinat untuk menghitung luas-ujung dapat dipakai untuk sembarang jenis tampang dan mempunyai banyak pemakaian teknis. Prosedurnya dibahas dalam Paragraf 14-6 sebagai cara menentukan luas wilayah dalam poligon tertutup.

Untuk menunjukkan metode dalam hitungan luas-ujung, contoh pada Gambar 27-4 akan diselesaikan. Koordinat masing-masing titik pada tampang dihitung, dalam sebuah sistem sumbu dengan titik *O* sebagai pusatnya, memakai data yang telah tertulis tadi untuk galian dan jarak-jarak dari sumbu. Dalam menghitung koordinat, jarak-jarak ke kanan sumbu dan harga galian dianggap plus; jarak-jarak kiri dan harga timbunan adalah minus. Mulai dengan titik *O* dan berlanjut searah jarum jam keliling bentuknya, koordinat tiap titik ditulis berurutan. Titik *O* diulang pada ujung akhir. Kemudian Pers. (14-7) diterapkan, di mana hasilkali diagonal ke bawah ke kanan (garis penuh) dianggap minus, dan hasilkali diagonal ke bawah kiri (garis putus-putus) adalah plus. Tanda-tanda aljabar koordinat haus diperhitungkan, jadi hasilkali positif (garis-putus-putus) yang mempunyai koordinat negatif akan menjadi minus. Jumlah luas diperoleh dengan jalan membagi harga-harga mutlak jumlah aljabar semua hasilkali dengan 2. Hitungan-hitungannya dijelaskan dalam Tabel 27-2.

Adalah perlu untuk membuat hitungan-hitungan terpisah untuk luas ujung galian dan timbunan bila keduanya terjadi pada satu tampang (seperti pada stasiun 11 + 40 pada Gam-

TABEL 27-1. LUAS UJUNG DENGAN BENTUK SEDERHANA

BENTUK	HITUNGAN	LUAS
ODCC'	$\frac{1}{2}$ (18,0 + 15,8)20	338
C'CL	$\frac{1}{2}$ (15,8)13,8	109
HLC'	$-\frac{1}{2}$ (5)12,5	–31
ODEE'	$\frac{1}{2}$ (18,0 + 10,1)12	169
EE'R	$\frac{1}{2}$ (10,1)21,3	108
E'RG	$\frac{1}{2}$ (3)12,2	18
		Luas = 711 ft^2

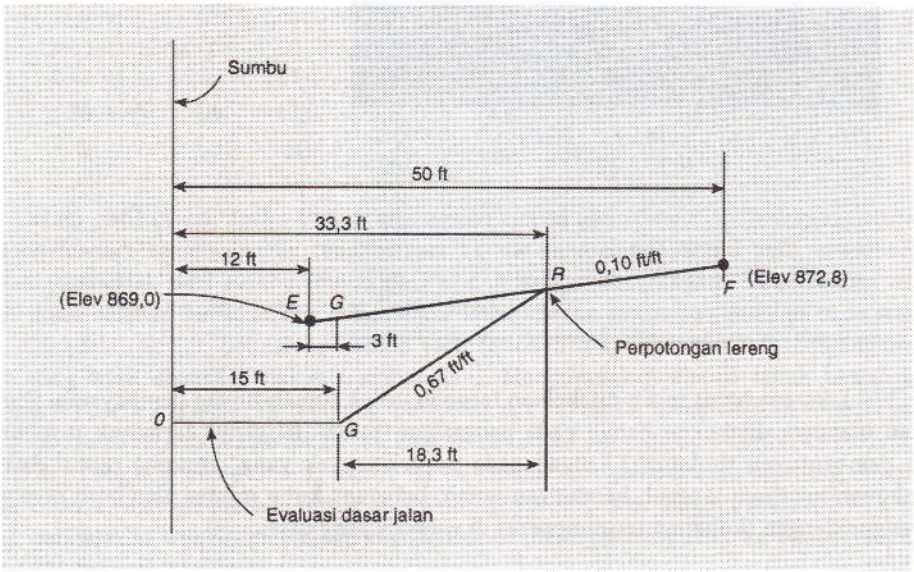
bar 27-1), karena harus selalu ditabelkan terpisah untuk tujuan-tujuan pembayaran. Pembayaran biasanya dilakukan hanya pada penggalian (satuan harganya termasuk pembuatan dan pembentukan timbunan) kecuali pada proyek-proyek yang terutama terdiri dari penimbunan misalnya tanggul, bendungan tanah, beberapa kubu militer, dan jalan raya yang dibangun dengan timbunan terus-menerus di wilayah yang datar.

27-7. MENGHITUNG PERPOTONGAN LERENG. Hitungan elevasi dan jarak-jarak ke luar dari sumbu perpotongan lereng dapat dilakukan memakai data tampang melintang dan harga lereng galian atau timbunan. Pada Gambar 27-4 misalnya, perpotongan *R* terjadi antara titik profil tanah *E* (jarak 12 ft kanan dan elevasi 869,0) dan titik *F* (jarak 50 ft kanan dan elevasi 872,8). Lereng galian adalah $1\frac{1}{2}$: 1 atau 0,67 ft/ft. Diagram lebih terinci melukiskan geometri untuk menghitung perpotongan lereng *R* diberikan dalam Gambar 27-5.

Lereng sepanjang garis tanah *EF* adalah (872,8 – 869,0)/38 = 0,10 ft/ft, di mana 38 ft adalah jarak horisontal antara titik-titik itu. Elevasi *G'* (titik vertikal di atas *G*) adalah 869,0 + 0,10(3) = 869,3; jadi, ordinat *GG'* adalah (869,3 – 858,9) = 10,4 ft. Garis *EF* dan *GR* mengumpul dengan kecepatan sama dengan selisih lereng-lerengnya (karena keduanya miring ke atas) atau dengan kecepatan (0,67 – 0,10) = 0,57 ft/ft. Membagi ordinat *GG'* dengan konvergensi ini menghasilkan jarak horisontal *GR*, atau 10,4/0,57 = 18,3 ft. Menambahkan 18,3 pada jarak *OG* menghasilkan 18,3 + 15 = 33,3 ft, yaitu jarak dari sumbu ke perpotongan lereng *R*. Akhirnya, untuk memperoleh elevasi *R*, kenaikan elevasi dari *E*

TABEL 27-2. LUAS UJUNG DENGAN KOORDINAT

TITIK	X	Y	PLUS	MINUS
O	0	0		
H	–15	0	0	0
L	–33,8	12,5	0	+188
C	-20	15,8	–250	+534
D	0	18,0	0	+360
E	12	10,1	216	0
R	33,3	12,2	336	–146
G	15	0	183	0
O	0	0	0	0
			+485	+936
			+936	
			2) 1421	
			711 ft^2 (ft^2 terdekat)	



Gambar 27-5. Hitungan perpotongan lereng R pada Gambar 27-4.

ke R ditambahkan pada elevasi E, atau 0,10(21,3) + 869,0 = 871,1. Ordinat galian di R sama dengan 871,1 − 858,9 = 12,2 ft. Ingatlah bahwa 33,3 dan 12,2 adalah berturut-turut koordinat X dan Y, yang dipakai dalam hitungan-hitungan luas-ujung pada Paragraf 27-6.2.

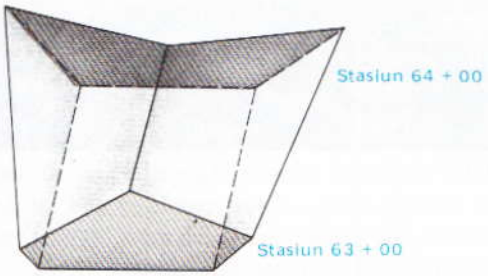
Elevasi dan jarak dari sumbu perpotongan lereng L pada Gambar 27-4 dihitung dengan cara serupa, kecuali angka konvergensi garis-garis CB dan HL adalah jumlah lereng-lereng-nya karena CD lerengnya ke bawah dan HL ke atas. Hitungan-hitungan perpotongan lereng agak makan tenaga, tetapi menjadi rutin bila diprogram untuk penyelesaian dengan komputer elektronik. Jika komputer elektronik tidak dipakai untuk menghitung luas ujung dan volume, prosedur yang biasa dilaksanakan adalah menggambar tampang melintang dan malacuan, menentukan luas ujung dengan planimeter dan mengambil skala perpotongan lereng dari gambar. Perpotongan lereng itu sangat penting, karena penempatan pancang lereng yang menjadi pedoman pekerjaan konstruksi didasarkan padanya.

27-8. RUMUS PRISMOIDAL. Rumus prismoidal berlaku untuk volume-volume semua benda pejal geometrik yang dapat dianggap prismoida. Kebanyakan volume pekerjaan tanah termasuk klasifikasi ini, tetapi nisbi beberapa saja dari padanya memerlukan kesaksamaan rumus prismoidal. Tanah itu tidak seragam dari tampang melintang satu ke tampang melintang lain, dan sudut tegaklurus dari sumbu yang dibuat dengan prisma pentagon atau dengan metode "lengan" (lihat Paragraf 16-10.5) menimbulkan galat-galat.

Sebuah susunan rumus prismoidal adalah:

$$V_p = \frac{L(A_1 + 4A_m + A_2)}{6 \times 27} \qquad (27\text{-}3)$$

di mana V_p adalah volume prismoidal dalam yard kubik, A_1 dan A_2 adalah luas-luas tampang melintang berturutan yang diambil di lapangan, A_m adalah luas tampang di tengah-tengah antara A_1 dan A_2, dan L adalah jarak horisontal antara A_1 dan A_2.



Gambar 27-6. Tampang-tampang untuk mana koreksi prismoidal ditambahkan pada volume luas-ujung.

Untuk memakai rumus ini perlu diketahui luas A_m tampang di tengah-tengah antara stasiun-stasiun. Ini diketemukan dengan hitungan yang biasa *setelah mengambil purata ketinggian dan lebar tampang-tampang ujung.* Jelaslah bahwa luas tengah *bukan* purata luas-luas ujung, karena kemudian tak ada bedanya antara hasil rumus luas-ujung dan rumus prismoidal.

Rumus prismoidal pada umumnya menghasilkan volume yang lebih kecil daripada yang diketemukan dengan rumus luas-ujung purata. Misalnya, volume piramida dengan rumus prismoidal adalah $Ah/3$, sedangkan dengan metode luas-ujung purata hasilnya adalah $A/2$. Sebuah kekecualian terjadi bila tinggi pusat adalah besar tetapi lebarnya kecil di satu stasiun, dan ketinggian pusat (tengah) itu kecil tetapi lebar pada stasiun di sebelahnya. Gambar 27-6 melukiskan keadaan ini. Selisih antara volume yang diperoleh dengan rumus luas-ujung purata dan yang diperoleh dengan rumus prismoidal disebut *koreksi prismoidal,* C_p.

Berbagai buku tentang pengukuran jalur lintas memberikan rumus-rumus dan tabel-tabel untuk menghitung koreksi prismoidal yang dapat diterapkan pada volume luas-ujung purata untuk memperoleh volume prismoidal. Kecuali dalam penggalian batu dan pekerjaan beton, pemakaian rumus prismoidal biasanya tidak dianggap perlu karena adanya data lapangan dengan kesaksamaan rendah. Seringkali lebih mudah menghitung volume luas-ujung purata dan koreksi prismoidal daripada langsung menghitung volume prismoidal.

Sebuah rumus koreksi prismoidal, teliti untuk tampang tiga tingkat dan cukup teliti untuk kebanyakan lainnya, adalah:

$$C_p = \frac{L}{12 \times 27}(c_1 - c_2)(w_1 - w_2) \qquad (27\text{-}4)$$

di mana C_p adalah volume koreksi prismoidal dalam yard kubik, c_1 dan c_2 adalah ketinggian pusat pada galian (atau pada timbunan), dan w_1 dan w_2 adalah lebar-lebar tampang (dari perpotongan lereng ke perpotongan lereng) pada tampang-tampang berdampingan.

Jika hasilkali $(c_1 - c_2)(w_1 - w_2)$ minus, seperti pada Gambar 27-6, koreksi prismoidal ditambahkan dan bukan dikurangkan dari volume luas-ujung.

Untuk proyek-proyek dengan lebih dari beberapa tampang melintang, program-program komputer tersedia dan pada umumnya dipakai, tetapi seorang juru-ukur atau insinyur masih harus memahami metode hitungannya. Hitungan pekerjaan tanah dari data fotogrametrik harus cocok dengan hasil-hasil pengukuran yang baik dalam batas 1% di wilayah terbuka yang bebas dari pohon-pohon besar dan semak-semak tinggi. Cara ini telah diterima dengan sah dan oleh para pemborong.

Kecuali pada penggalian batu, volume luas-ujung-purata biasanya memuaskan dan kalau tidak dinyatakan, dapat diterima dengan sah. Pemborong puas karena kuantitas pembayaran biasanya lebih besar daripada volume prismoidal yang sebanding.

TABEL 27-3. BENTUK TABEL HITUNGAN VOLUME

STASIUN	LUAS UJUNG (ft^2) GALIAN	LUAS UJUNG (ft^2) TIMBUNAN	VOLUME ($yard^3$) GALIAN	VOLUME ($yard^3$) TIMBUNAN	VOLUME TIMBUNAN + 25% (Y^3)	VOLUME KUMULATIF (y^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
10 + 00		892		2614	3268	0
11 + 00		421		190	238	− 3268
11 + 21	0	68	12	29	37	− 3506
11 + 40	34	31	79	14	17	− 3531
11 + 64	144	0	553			− 3469
12 + 00	686		2967			−2916
13 + 00	918		2967			+ 51

27-9. HITUNGAN VOLUME. Hitungan volume untuk proyek-proyek konstruksi jalur lintas sering dikerjakan dengan komputer elektronik, tetapi bila dikerjakan dengan kalkulator tangan, biasanya disusun dalam bentuk tabel. Untuk menjelaskan prosedur ini, anggaplah bahwa luas-luas ujung yang termuat dalam kolom (2) dan (3) pada Tabel 27-3 berlaku untuk tampang jalan yang tertulis pada Gambar 27-1. Memakai Pers. (27-1), volume galian dan timbunan dihitung dan ditabelkan dalam kolom (4) dan (5).

Hitungan volume yang dijelaskan dalam Tabel 27-3 termasuk tampang-tampang transisi pada Gambar 27-1. Ini biasanya tidak dikerjakan bila volume pekerjaan tanah awal sedang ditaksir (selama perencanaan dan sebelum konstruksi) karena lokasi-lokasi tepat tampang-tampang transisi dan bentuk-bentuknya biasanya tidak diketahui sampai terjadinya pemancangan lereng. Jadi, untuk penghitungan kuantitas pekerjaan tanah awal, sebuah luas ujung sebesar nol akan dipakai pada stasiun titik gradien sumbu (stasiun 11 + 40 pada Gambar 27-1), dan tampang transisi (stasiun 11 + 21 dan 11 + 64 Gambar 27-1) tak akan muncul dalam hitungan-hitungan. Setelah pemancangan lereng (prosedur untuk pemancangan lereng dijelaskan dalam Paragraf 24-7) lokasi-lokasi dan luas ujung tampang transisi diketahui, dan harus dimasukkan dalam hitungan volume akhir terutama jika cukup mempengaruhi kuantitas untuk dasar pembayaran.

Dalam konstruksi jalan raya dan jalan baja, material penggalian atau galian dipakai untuk membangun penimbunan atau timbunan. Kecuali ada faktor-faktor pengendali lainnya, garis gradien yang bagus perencanaannya seharusnya hampir memberi imbangan volume jumlah galian dengan volume jumlah timbunan. Untuk mencapai keseimbangan, volume timbunan dikembangkan atau volume galian dikecilkan.[1] Ini perlu karena kecuali untuk galian-galian batu, penimbunan dimampatkan sampai suatu kepekatan yang lebih besar daripada material yang digali dari keadaan alamiahnya, dan untuk menyeimbangkan pekerjaan tanah, ini harus dipertimbangkan. (Galian batu mengembang menempati volume timbunan yang lebih besar; jadi galian dikembangkan atau timbunan dikecilkan untuk memperoleh keseimbangan). Angka pengembangan tergantung pada jenis material dan tak pernah dapat ditaksir tepat. Tetapi, contoh dan catatan proyek yang sudah-sudah di wilayah dekat dari situ, berguna untuk menetapkan faktor-faktor yang

[1] Pengembangan volume timbunan pada umumnya lebih disukai, karena pembayaran biasanya berdasarkan pada volume sebenarnya material yang digali.

masuk akal. Kolom (6) Tabel 27-3 memuat timbunan-timbunan yang dikembangkan untuk contoh Gambar 24-1, di mana diterapkan sebuah faktor sebesar 25%.

Untuk menyelidiki apakah pekerjaan tanah mencapai keseimbangan atau tidak, dihitung *volume kumulatif*. Ini melibatkan penjumlahan daripada galian dan timbunan yang dikembangkan, secara aljabar dari awal proyek ke akhirnya, dengan galian dianggap positif dan timbunan negatif. Volume kumulatif ditulis dalam kolom (7) Tabel 27-3. Dalam contoh ini ada kelebihan volume galian sebesar 51 yard kubik antara stasiun-stasiun 10 + 00 dan 13 + 00, atau dengan perkataan lain, ada sebuah surplus (sisa) dari penggalian.

Untuk menganalisa pemindahan kuantitas pekerjaan tanah pada proyek-proyek besar, dibuat *diagram massa*. Ini adalah penggambaran volume kumulatif untuk masing-masing stasiun sebagai ordinat, terhadap stasiun-stasiun pada absis. Garis-garis horisontal (keseimbangan) pada diagram massa kemudian menentukan batas angkutan dan arah pembuangan material yang masih ekonomis. Diagram massa dijelaskan lebih terinci dalam buku-buku tentang pengukuran jalur lintas.

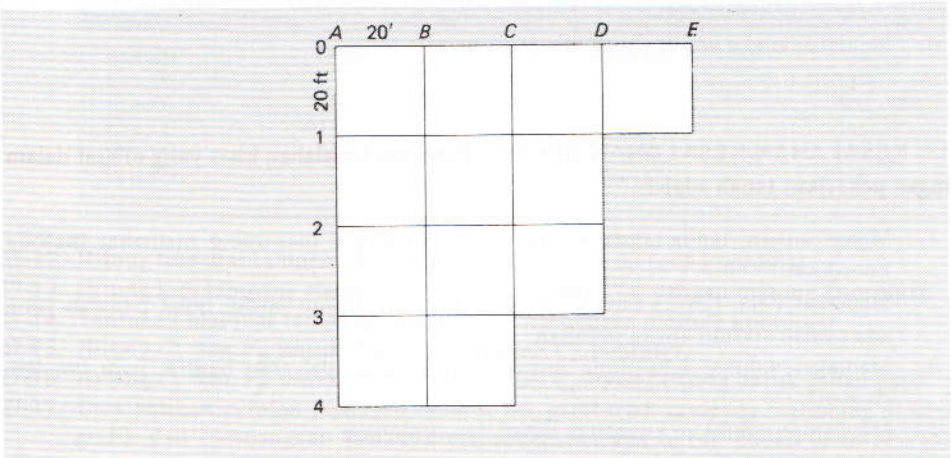
Jika tak ada material cukup dari galian untuk membuat timbunan yang diperlukan, selisihnya harus *dipinjam* (diperoleh dari lubang-galian-sumbang atau sumber-sumber lain seperti membuat lengkungan "tambahan"). jika ada kelebihan galian, maka *dibuang* atau barangkali dipakai untuk memperluas dan meratakan timbunan.

27-10. METODE LUAS-SATUAN ATAU LUBANG-GALIAN-SUMBANG (BORROW-PIT METHOD). Kualitas tanah, kerikil, batu atau material lain yang digali atau ditimbunkan pada sebuah proyek konstruksi dapat ditentukan dengan sipat datar lubang-galian-sumbang. Kuantitas yang dihitung itu, membentuk dasar untuk pembayaran kepada pemborong atau pemasok material (supplier). Jumlah yard kubik batu bara atau material gembur lainnya dalam timbunan persediaan dapat diketemukan dengan cara sama.

Sebagai contoh, anggaplah luas yang ditunjukkan dalam Gambar 27-7 akan diberi gradien sampai elevasi 358,0 untuk lokasi sebuah gedung. Catatan untuk pekerjaan lapangan ditunjukkan dalam Gambar D-6.

Wilayah yang diliput dipancang menjadi bujur-bujur sangkar 10, 20, 50, 100 feet atau lebih, dengan pilihan tergantung pada ukuran proyek dan ketelitian yang diinginkan. Sebuah teodolit kompas dan/atau pita dapat dipakai untuk pemasangan itu. Sebuah titik-

Gambar 27-7. Sipat-datar lubang-galian-sumbang.



tetap-duga yang diketahui atau dianggap diketahui elevasinya ditetapkan di luar wilayah di tempat yang tak mungkin terganggu.

Sebuah alat sipat datar dipasang di tempat yang dipandang baik, sebuah bidikan plus diambil pada titik-tetap-duga, dan bidikan minus diambil pada titik-titik sudut bujur sangkar. Jika tanah tidak terlalu bergelombang, maka mungkin diambil sebuah titik dekat pusat wilayah dan mengambil bidikan pada semua titik sudut dari pemasangan yang sama, seperti pada contoh ini.

Titik-titik sudut bujur-sangkar ditandai dengan huruf dan angka, misalnya *A*-1, *C*-4, dan *D*-2. Karena lokasi akan diratakan sampai elevasi 358,0, maka jumlah galian atau timbunan pada tiap titik sudut dapat diperoleh dengan mengurangkan 358,0 dari elevasinya. Untuk masing-masing bujur-sangkar, kemudian tinggi purata keempat titik sudutnya pada prisma galian atau timbunan ditentukan dan dikalikan dengan luas dasar 20×20 ft = 400 ft^2, untuk memperoleh volume. Jumlah volume diperoleh dengan menjumlahkan seluruh harga individual masing-masing blok dan dibagi 27 untuk mendapat hasil dalam yard kubik.

Sebagai penyederhanaan, galian di masing-masing titik sudut dikalikan banyak kali masuk dalam hitungan volume dapat ditunjukkan dalam kolom terpisah, jumlahnya diperoleh, dan dibagi 4. Hasilnya dikalikan dengan luas dasar sebuah blok menghasilkan volume. Prosedur ini ditunjukkan dalam formulir catatan contoh.

27-11. METODE LUAS-GARIS-TINGGI (CONTOUR-AREA METHOD). Volume berdasarkan garis-tinggi dapat diperoleh dari peta garis-tinggi dengan pengukuran luas memakai planimeter terhadap wilayah yang dibatasi masing-masing garis-tinggi dan mengalikan luas purata garis-tinggi yang bersampingan dengan interval garis-tinggi, memakai Pers. (27-1). Misalnya, jika dalam pandangan bidang Gambar 16-5, luas dalam batas garis-tinggi 10 ft adalah 19.650 ft^2 dan luas dalam batas garis-tinggi 20 ft adalah 12.720 ft^2, maka volume luas-ujung-purata adalah $10(19.650 + 12.720)/2(27) = 5994$ yard kubik. Pemakaian rumus prismoidal jarang dapat dibenarkan dalam jenis hitungan ini.

27-12. SUMBER-SUMBER GALAT. Beberapa galat yang biasa ada pada penentuan luas tampang dan volume pekerjaan tanah adalah:

1. Membuat galat dalam pengukuran tampang melintang.
2. Kelalaian memakai rumus prismoidal di mana dibenarkan.
3. Memakai angka luas tampang melintang melebihi ft persegi terdekat, atau melebihi batas yang dimungkinkan oleh data lapangan.
4. Memakai angka volume melebihi yard persegi terdekat.

27-13. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan khas yang dibuat dalam hitungan pekerjaan tanah adalah:

1. Mengacaukan tanda-tanda aljabar dalam hitungan luas-ujung memakai metode koordinat.
2. Memakai Pers. (27-2) untuk hitungan volume stasiun angka bulat padahal yang ada adalah stasiun angka pecahan.
3. Memakai volume luas-ujung untuk bentuk piramidal atau bentuk paju (wedge-shaped).
4. Mencampuradukkan kuantitas galian dan timbunan.

SOAL-SOAL

27-1. Mengapa volume galian dan volume timbunan harus dijumlah terpisah?
27-2. Uraikan perbandingan lereng samping pada galian dan timbunan.
23-3. Mengapa badan jalan pada galian biasanya lebih besar daripada badan jalan itu di timbunan?
27-4. Siapkan sebuah tabel luas-ujung terhadap kedalaman timbunan dari 10 sampai 20 ft dengan pertambahan 2 ft untuk tampang datar, sebuah badan jalan rata lebar 40 ft, dan lereng samping 2 dibanding 1.
27-5. Seperti Soal 27-4, kecuali pakailah lereng samping 4 : 1.

Gambarlah tampang-tampang samping dan hitung V_e untuk data yang diberikan dalam Soal 27-6 sampai dengan 27-9.

27-6. Tampang dua tingkat, stasiun 100 ft dengan tinggi sumbu 5,1 dan 6,3 ft, pada galian. Lebar dasar = 40 ft; lereng samping 2 : 1.
27-7. Tampang dua tingkat, stasiun 70 ft, dengan tinggi sumbu 3,4 dan 6,0 ft, pada timbunan. Lebar dasar = 30 ft; lereng samping $2\frac{1}{2}$: 1.
27-8. Luas ujung pada stasiun 36 + 00 adalah 232 ft^2. Catatan-catatan jarak dari sumbu dan ordinat galian untuk stasiun 36 + 70 adalah C 3,8/15,7, C4,9, C 5,8/18,7. Dasar = 20 ft.
27-9. Sebuah saluran irigasi dengan b = 16 ft dan lereng samping 2 : 1. Catatan jarak-jarak dari sumbu dan ordinat galian untuk stasiun-stasiun 52 + 00 dan 53 + 00 adalah: C 2,4/12,8, C 3,0, C 3,7/15,4; dan C 3,1/14,2, C 3,8, C 4,1/16,2.
27-10. Untuk data dalam tabel, hitunglah volume penggalian dalam yard kubik antara stasiun-stasiun 10 + 00 dan 15 + 00.

STASIUN	GALIAN LUAS UJUNG (ft2)	STASIUN	GALIAN LUAS UJUNG (ft2)
10 + 00	275	13 + 00	420
11 + 00	392	14 + 00	244
12 + 00	486	15 + 00	180

27-11. Untuk data yang diberikan, tabelkan volume-volume galian, timbunan, dan kumulatif dalam yard kubik, antara stasiun-stasiun 10 + 00 dan 20 + 00. Pakailah sebuah faktor pemampatan 1,30 untuk galian.

STASIUN	LUAS UJUNG (ft2) GALIAN	TIMBUNAN	STASIUN	GALIAN LUAS UJUNG (ft2)
10 + 00	0		15 +00	124
11 + 00	196		16 + 00	238
12 + 00	348		17 + 00	300
13 + 00	317		18 + 00	265
14 + 00	146		19 + 00	183
14 + 40	0	0	20 + 00	116

27-12. Hitung luas-luas tampang dalam Soal 27-7 dengan metode koordinat.
27-13. Hitung luas tampang stasiun 36 + 70 dalam Soal 27-8 dengan metode koordinat.
27-14. Tentukan luas-luas tampang dalam Soal 27-9 dengan metode koordinat.
27-15. Hitung C_p dan V_p untuk Soal 27-6. Apakah C_p penting?
27-16. Hitung C_p dan V_p untuk Soal 27-9. Apakah C_p akan penting untuk galian batu?
27-17. Dari petikan catatan lapangan berikut ini, gambarlah tampang melintang di kertas grafik dan tumpangkan padanya mal-acuan rencana untuk badan jalan rata lebar

30 ft dengan lereng timbunan 3 : 1 dan elevasi tanah bawah jalan pada sumbu 974,60 ft. Tentukan luas ujung secara grafis dengan menghitung bujur-sangkar.

HI(TI) = 972.31

$$20 + 00 \text{ Kiri } \frac{4.8}{50}\ \frac{5.2}{22}\ \frac{5.9}{\text{Sumbu}}\ \frac{6.6}{12}\ \frac{8.1}{30}\ \frac{7.0}{50}$$

27-18. Untuk data Soal 27-17, tentukan luas ujung dengan planimeter.

27-19. Untuk data Soal 27-17, hitunglah perpotongan-perpotongan lereng dan tentukan luas ujung dengan metode koordinat. Cocokkan dengan menghitung luas segitiga dan jajaran genjang.

27-20. Dari petikan catatan lapangan berikut ini, gambarlah tampang melintang pada kertas grafik dan tumpangkan padanya mal-acuan rencana untuk badan jalan rata lebar 40 ft dengan lereng galian $2\frac{1}{2}$: 1 dan elevasi tanah bawah jalan 1247,50 ft. Tentukan luas ujung secara grafis dengan menghitung bujur-sangkar. Cocokkan dengan planimeter.

TI = 1262.80

$$46 + 00 \text{ Kiri } \frac{9.0}{50}\ \frac{6.9}{27}\ \frac{5.2}{10}\ \frac{4.9}{\text{Sumbu}}\ \frac{5.6}{24}\ \frac{3.8}{50}$$

27-21. Untuk data Soal 27-20, hitunglah perpotongan-perpotongan lereng dan tentukan luas ujung dengan metode koordinat. Cocokkan dengan menghitung luas segitiga-segitiga dan jajaran-genjang.

27-22. Lengkapilah catatan-catatan berikut ini dan hitung V_e dan V_p. Badan jalan rata, dasar 26 ft dan lereng samping adalah $2\frac{1}{2}$: 1.

$$\text{Stasiun } 88 + 00 \quad \frac{\text{C } 6.4}{\quad}\quad \text{C } 3.6 \quad \frac{\text{C } 5.7}{\quad}$$

$$\text{Stasiun } 87 + 00 \quad \frac{\text{C } 3.1}{\quad}\quad \text{C } 4.9 \quad \frac{\text{C } 4.3}{\quad}$$

27-23. Serupa Soal 27-22, kecuali dasar 36 ft dan lereng samping 3 : 1.

27-24. Hitunglah V_e dan V_p untuk catatan berikut. Dasar pada timbunan = 20 ft, dasar pada galian = 30 ft, dan lereng samping $1\frac{1}{2}$: 1.

$$12 + 90 \quad \frac{\text{C } 2.4}{18.6}\ \frac{\text{C } 1.0}{0}\ \frac{0.0}{6.0}\ \frac{\text{F } 2.0}{13.0}$$

$$12 + 40 \quad \frac{\text{C } 1.2}{16.8}\ \frac{0.0}{0}\ \frac{\text{F } 4.0}{16.0}$$

F = timbunan
C = galian

27-25. Hitunglah V_e, C_p dan Vp untuk catatan-catatan berikut. Dasar pada galian = 36 ft, dan lereng samping adalah 2 : 1.

$$46 + 00 \quad \frac{\text{C } 4.2}{26.4}\ \frac{\text{C } 2.0}{0}\ \frac{\text{C } 3.6}{25.2}$$

$$45 + 00 \quad \frac{\text{C } 2.4}{22.8}\ \frac{\text{C } 3.0}{0}\ \frac{0.0}{18.0}$$

Untuk Soal-soal 27-26 dan 27-27 hitunglah kapasitas waduk (dalam acre-ft) antara garis-garis-tinggi tertinggi dan terendah untuk luas-luas dari planimeter pada sebuah peta topografik.

27-26.

ELEVASI (ft)	960	970	980	990	1000	1010
LUAS (ft^2)	915	1106	1462	1967	2360	3070

27-27.

ELEVASI (ft)	415	420	425	430	435	440
LUAS (ft^2)	2017	2174	2222	2404	2596	2974

27-28. Sebuah planimeter kutub ditera menghasilkan pembacaan purata 1,476 putaran roda pada lingkaran bergaris tengah 4 in. Garis-tinggi 20 ft diukur dengan planimeter pada sebuah peta lokasi waduk dengan skala 1 in = 500 ft menghasilkan harga seperti pada tabel. Hitunglah volume waduk dalam acre-ft.

GARIS TINGGI	720	740	760	780	800
PEMBACAAN PLANIMETER	0,000	0,827	1,338	3,304	5,995

27-29. Sebutkan beberapa hal yang dapat dipelajari dari sebuah diagram massa.

27-30. Sebutkan dua keadaan di mana koreksi prismoidal paling penting.

27-31. Apakah kontrak-kontrak konstruksi departemen jalan raya negara bagian Anda berisi penyediaan yang meliputi jarak angkut bebas biaya (free haul) dan jarak angkut lebih (overhaul)? Jika demikian, tulislah perinciannya.

27-32. Tulislah sebuah program komputer untuk menghitung perpotongan-perpotongan lereng dan luas ujung dengan metode koordinat, bila diberikan catatan-catatan tampang melintang dan informasi rencana badan jalan seperti yang ada pada Soal 27-17.

Hickerson, T.F. 1967. *Lokasi dan Rencana Jalur Lintas,* edisi ke-5. New York: McGraw-Hill.

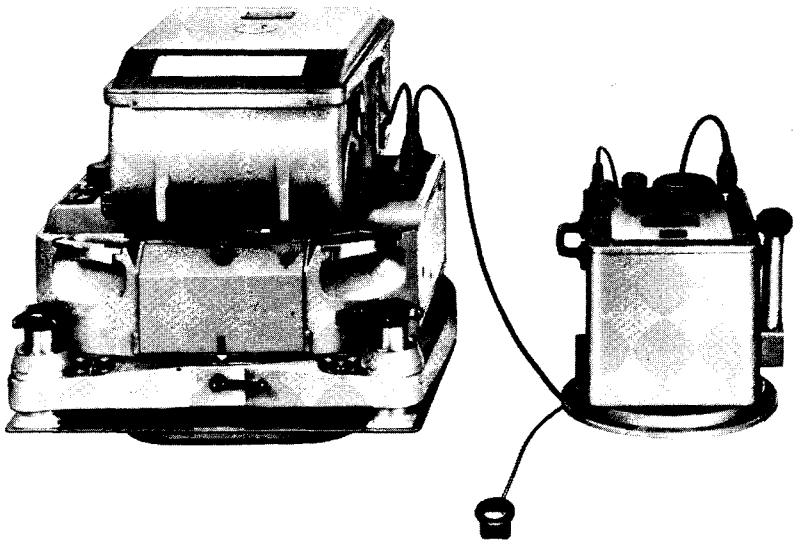
Meyer, C.F., dan D.W. Gibson. 1980. *Pengukuran dan Rencana Jalur Lintas,* edisi ke-5, New York: Harper & Row.

Wild, T. 1954. "Pengukuran Volume yang disederhanakan dengan Planimeter Kutub." *Surveying and Mapping* 14(no. 2): 218.

28 FOTOGRAMETRI

28-1. PENGANTAR. Fotogrametri dapat diberi definisi sebagai ilmu, seni, dan teknologi memperoleh informasi yang dapat dipercaya dari foto. Fotogrametri meliputi dua bidang spesialisasi utama: *metris* dan *bersifat menafsir* (interpretative). Bidang pertama menjadi kepentingan utama para juru-ukur, karena diterapkan untuk menentukan jarak, elevasi, luas, volume dan tampang melintang, serta untuk pembuatan peta-peta topografik dari pengukuran-pengukuran pada foto. *Foto udara* (diambil dari pesawat terbang) adalah yang biasa dipakai, walaupun untuk pekerjaan khusus tertentu, dipakai *foto terestris* (yang diambil dengan kamera yang diletakkan di tanah).

Fotogrametri yang bersifat menafsir melibatkan pengenalan obyek-obyek dari citra fotografiknya dan penentuan kepentingannya. Faktor-faktor kritis yang dipertimbangkan dalam mengenal obyek-obyek adalah bentuk, ukuran, pola, bayang-bayang, sifat warna (tone), dan tekstur citranya. Bidang fotogrametri ini secara tradisional disebut *penafsiran fotografik* karena pada awalnya mengandalkan pada foto udara. Lebih belakangan ini alat-alat pengindera dan pencitraan seperti penatap multispektral (multispectral scanner), penatap termal, radiometer, dan radar udara lihat-samping (side-looking airborne radar) telah dikembangkan untuk membantu dalam penafsiran. Instrumen-instrumen ini mengindera energi dalam panjang gelombang melebihi yang dapat ditangkap oleh mata manusia atau yang dapat ditangkap oleh film fotografik biasa. Alat-alat ini seringkali dibawa dalam pesawat seperti satelit yang terbang sangat tinggi (jauh) oleh karena itu sebuah istilah baru, *penginderaan jauh* (remote sensing), sekarang biasa diterapkan dalam bidang fotogrametri yang bersifat menafsirkan.



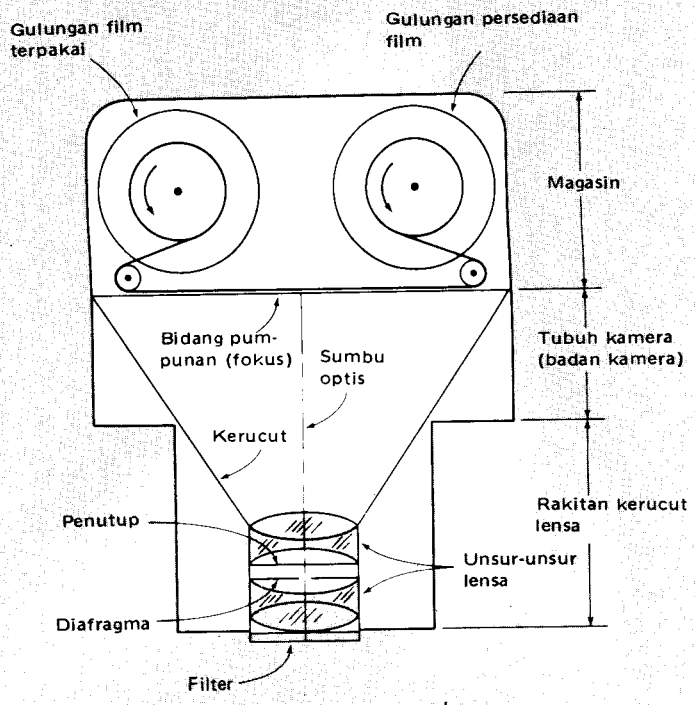
Gambar 28-1. Kamera udara. (Atas kebaikan Carl Zeiss, Oberkochen.)

Dalam bab ini, yang dititikberatkan adalah fotogrametri metris memakai foto udara karena merupakan fase yang paling sering diterapkan dalam pekerjaan pengukuran tanah.

28-2. PEMAKAIAN FOTOGRAMETRI. Fotografi dikembangkan sejak tahun 1839 dan usaha pertama untuk memakai fotogrametri dalam mempersiapkan sebuah peta topografik terjadi setahun kemudian. Sekarang fotogrametri adalah cara utama dalam pemetaan topografik. Misalnya U.S. Geological Survey, memakai prosedur ini hampir khusus untuk membuat peta-peta segiempat. Kamera, film, instrumen penggambar (plotting instruments) dan tekniknya terus-menerus ditingkatkan sehingga peta-peta yang dibuat secara fotogrametris dewasa ini telah memenuhi persyaratan ketelitian yang tinggi sekali. Kebaikan-kebaikan lain metode pemetaan ini adalah (a) kecepatan liputan sebuah wilayah, (b) nisbi biaya rendah, (c) kemudahan memperoleh detail-detail topografik, terutama di wilayah yang sulit didatangi, (d) mengurangi kemungkinan penghilangan data karena terlalu banyaknya detail terlihat dalam foto-foto.

Dewasa ini fotogrametri mempunyai banyak pemakaian dalam pengukuran tanah dan rekayasa. Misalnya dipakai dalam pengukuran tanah untuk menghitung koordinat titik sudut section, titik sudut batas, atau titik-titik bukti yang membantu menemukan lokasi titik-titik sudut. Peta-peta skala besar dibuat dengan prosedur fotogrametrik untuk banyak pemakaian, satu di antaranya adalah perencanaan pengkaplingan. Fotogrametri dipakai untuk memetakan garis-garis pantai dalam pengukuran hidrografik, untuk menentukan koordinat titik di tanah secara saksama dalam pengukuran titik kontrol, dan untuk mengembangkan peta-peta dan tampang melintang untuk pengukuran jalur lintas dan rekayasa. Fotogrametri diharapkan untuk memegang peranan penting dalam pengembangan informasi yang perlu untuk sistem-sistem data tanah modern.

Fotogrametri juga sedang diterapkan dengan berhasil baik dalam banyak bidang selain rekayasa – misalnya geologi, arkeologi, kehutanan, pertanian, pelestarian, perencanaan, dinas rahasia militer, pengelolaan lalu-lintas, dan penyelidikan kecelakaan. Adalah di luar cakupan bab ini untuk membahas semua ragam penerapan fotogrametri. Pemakaian ilmu itu telah meningkat secara dramatis dalam tahun-tahun akhir ini, dan perkembangan-



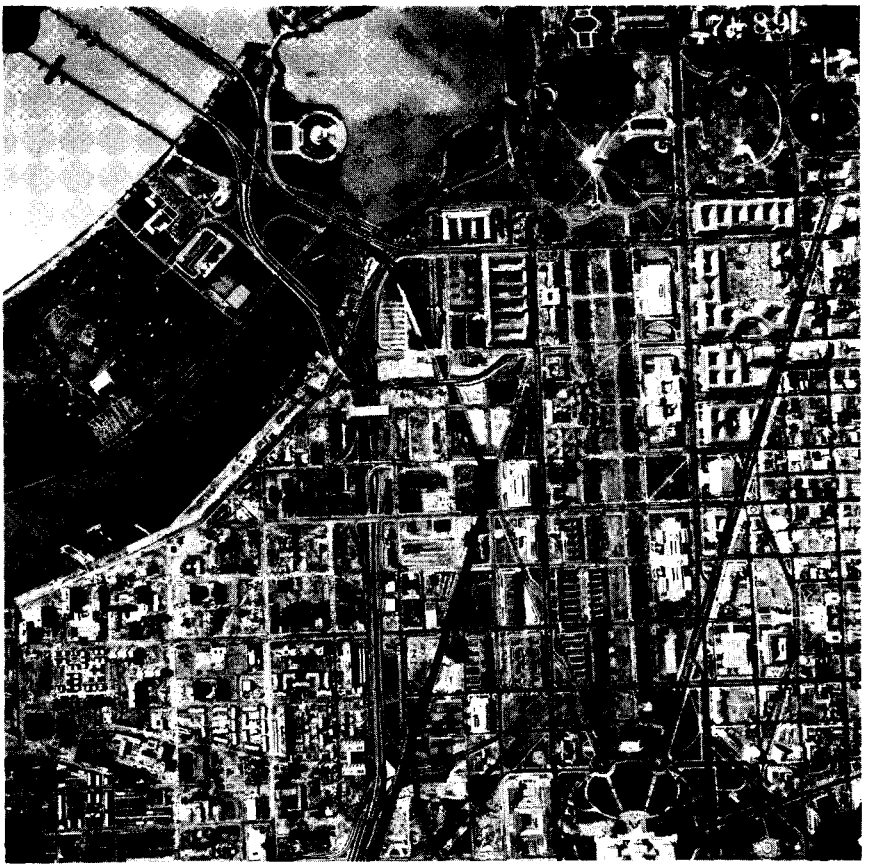
Gambar 28-2. Bagian-bagian utama sebuah kamera udara kerangka lensa-tunggal.

nya di masa depan untuk memecahkan masalah-masalah pengukuran dan pemetaan nampak meyakinkan.

28-3. KAMERA UDARA. Kamera pemetaan udara adalah instrumen saksama yang dirancang untuk memotret dari pesawat udara. Alat ini harus mampu mengambil foto dalam jumlah besar dalam urutan yang cepat sambil bergerak bersama pesawat dengan kecepatan tinggi, sehingga diperlukan waktu putar pendek, lensa cepat, penutup (shutter) yang efisien dan persediaan film yang berkapasitas besar.

Kamera-kamera *kerangka lensa-tunggal* adalah jenis yang paling sering dipakai dalam fotogrametri metrik. Kamera ini mengambil foto seluas kerangka atau format dengan serentak melalui sebuah lensa yang terpasang pada jarak tetap dari bidang fokus. Biasanya mempunyai ukuran format 9 x 9 in dan lensa dengan panjang fokus (jarak pumpun) 6 in, walaupun dipakai pula kamera dengan jarak fokus $3\frac{1}{2}$, $8\frac{1}{2}$ dan 12 in. Sebuah kamera kerangka lensa-tunggal diperlihatkan dalam Gambar 28-1.

Bagian-bagian utama sebuah kamera kerangka lensa-tunggal diperlihatkan dalam diagram pada Gambar 28-2. Ini termasuk *lensa* (bagian paling penting); *penutup* (shutter) untuk mengatur interval waktu sinar lewat lensa; *diafragma* untuk mengatur ukuran lubang lensa; *filter* untuk mengurangi pengaruh kekaburan dan menyebarkan sinar merata seluruh format; *kerucut kamera* untuk menopang rakitan lensa-penutup-diafragma terhadap bidang fokus dan mencegah sinar nyasar ke film; *bidang fokus* (bidang pumpunan), bidang di mana film terletak pada waktu terjadi pemotretan; *tanda acuan* (fiducial marks) (tak terlihat pada Gambar 28-2), berjumlah empat atau delapan buah untuk menentukan titik utama fotografik; *badan kamera* untuk wadah mekanisme gerakan yang menyiapkan dan mendo-



Gambar 28-3. Foto udara vertikal. (Atas kebaikan Owen Ayres & Associates, Inc.)

rong penutup, meratakan film, dan mendorong maju di antara pemotretan; dan *magasin* (magazine) yang menyiapkan persediaan film yang telah terpakai dan belum terpakai dalam kamera.

Penutup kamera udara dapat dioperasikan dengan tangan oleh operator atau dengan *intervalometer* yang secara otomatis mendorong penutup pada saat yang ditentukan. Sebuah tabung nivo yang menempel pada kamera membantu sumbu optis lensa kamera (yang tegaklurus pada bidang fokus) tetap vertikal walaupun ada sedikit junam maupun kemiringan pesawat. Yang lebih baru, giroskop telah dikembangkan untuk menjaga agar sumbu kamera tetap mendekati vertikal. Film gulungan poliester biasanya dipakai dengan magasin berkapasitas 200 ft atau lebih.

Citra tanda acuan tercetak pada foto dan garis-garis yang menghubungkan dua tanda yang berhadapan berpotongan pada atau dekat sekali dengan *titik utama* (principal point), ditentukan sebagai titik di mana garis tinggi dari titik-pusat-optis-keluar pada lensa kamera jatuh pada bidang fokus. Titik-titik acuan dapat ditempatkan di sudut-sudut, seperti terlihat pada Gambar 28-3, pada sisi-sisi seperti pada Gambar 28-4, atau lebih disukai pada dua-duanya.

Kamera pemetaan udara ditera di laboratorium untuk memperoleh harga-harga saksama untuk jarak fokus dan piuhan lensa (lens distortion). Kerataan bidang fokus, kedudukan nisbi titik utama terhadap tanda-tanda acuan dan lokasi titik acuan juga ditentukan. Data peneraan ini perlu untuk hitungan-hitungan fotogrametrik yang saksama.

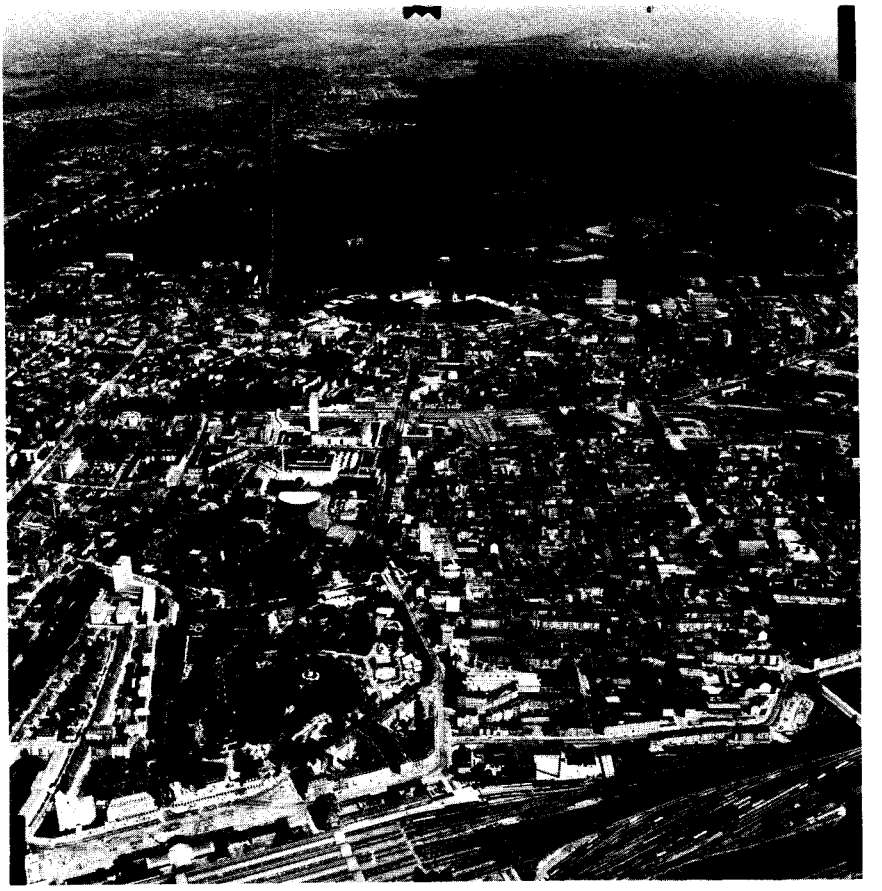


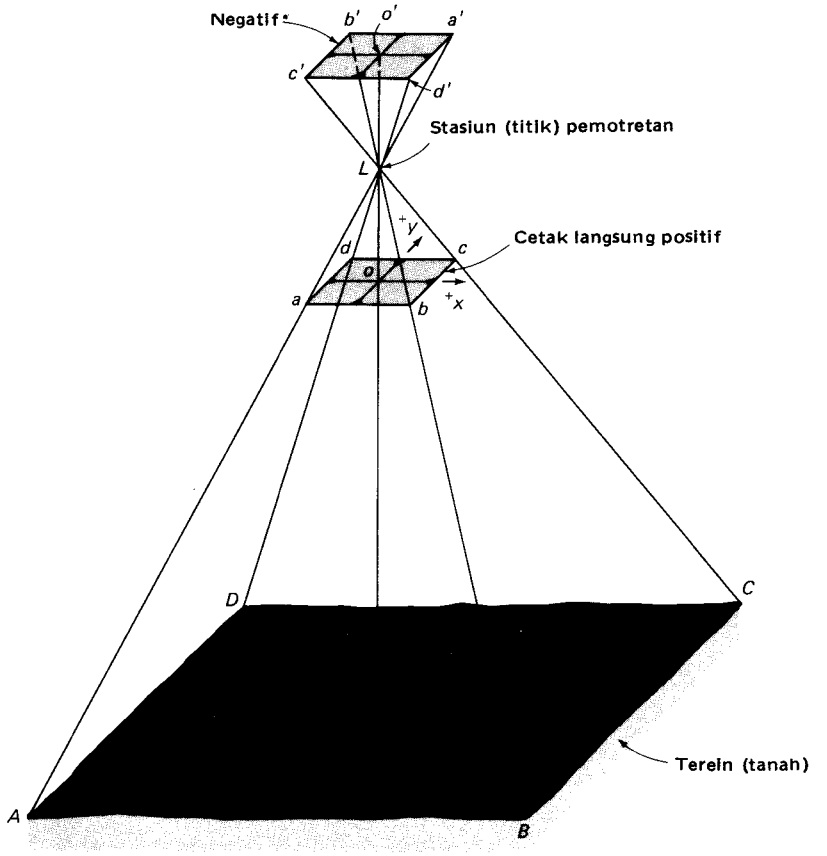
Figure 28-4. Low oblique aerial photograph. (Courtesy Carl Zeiss, Oberkochen.)

Gambar 28-4. Foto udara miring rendah. (Atas kebaikan Carl Zeiss, Oberkochen).

28-4. JENIS-JENIS FOTO UDARA. Foto-foto udara yang diambil dengan kamera kerangka lensa-tunggal diklasifikasikan sebagai *vertikal* (diambil dengan sumbu kamera diarahkan ke bawah vertikal atau sedekat mungkin dengan vertikal) dan *miring* (oblique) (dibuat dengan sumbu kamera sengaja dimiringkan dengan sudut tertentu antara horisontal dan vertikal). Foto miring lebih lanjut diklasifikasikan sebagai *tinggi* bila cakrawala terlihat pada foto dan *rendah* bila tidak. Gambar 28-3 dan 28-4 memperlihatkan berturut-turut contoh foto vertikal dan foto miring rendah, yang memperlihatkan dengan jelas semua ciri alamiah dan budaya dalam wilayah yang dicakup, misalnya jalan, jalan baja, gedung, sungai, jembatan, pohon dan tanah-tanah yang dikerjakan.

28-5. FOTO UDARA VERTIKAL. Foto vertikal adalah cara utama memperoleh citra untuk pemetaan topografik. Sebuah foto yang *benar-benar vertikal* akan dihasilkan bila sumbu kamera tepat vertikal sewaktu terjadinya pemotretan. Walaupun telah diadakan usaha pencegahan, kemiringan kecil yang pada umumnya kurang dari 1° dan jarang lebih dari 3°, selalu ada, dan hasilnya adalah foto yang disebut *hampir-vertikal atau condong.* Prinsip-prinsip fotogrametrik dan prakteknya telah dikembangkan untuk menangani foto condong dan tak ada ketelitian yang dikorbankan dalam pembuatan peta-peta dari foto demikian.

Walaupun foto vertikal nampak seperti peta bagi orang awam, sebenarnya bukan proyeksi ortografik permukaan bumi. Foto adalah pandangan perspektif, dan prinsip-prinsip

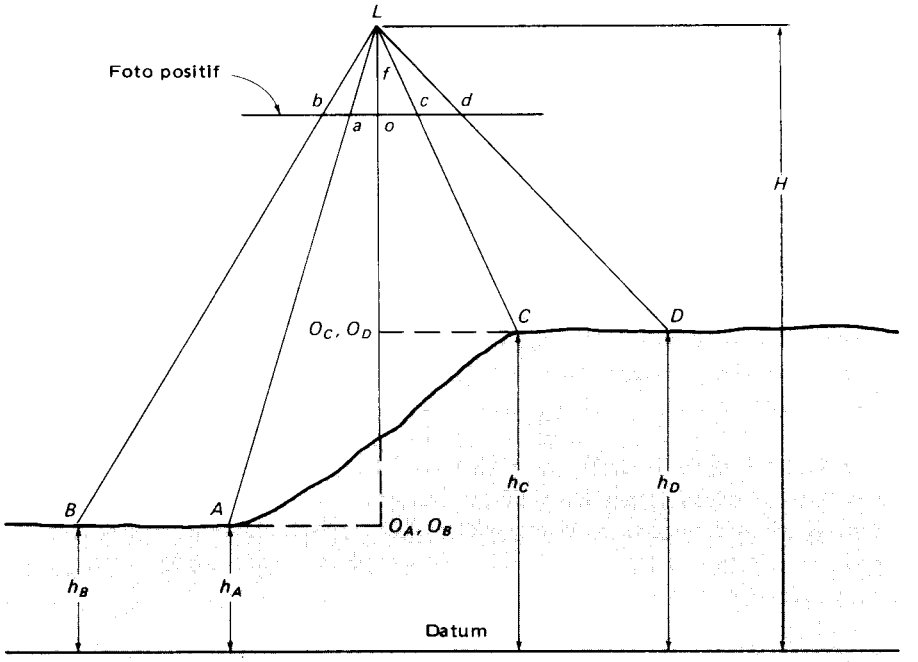


Gambar 28-5. Geometri foto udara vertikal.

geometri perspektif harus diterapkan untuk membuat peta dari foto. Gambar 28-5 melukiskan geometri sebuah foto vertikal yang diambil dari stasiun pemotretan *L*. Fotonya, dianggap sebagai sebuah positif cetak langsung (contact print) adalah sebuah kebalikan tepat 180° daripada negatif. Positif yang terlihat pada Gambar 28-5 dipakai untuk mengembangkan persamaan-persamaan fotogrametrik dalam paragraf-paragraf berikutnya.

Jarak *oL* (Gambar 28-5) adalah jarak fokus kamera. Sistem sumbu acuan *x* dan *y* untuk mengukur koordinat titik pada foto, didefinisikan sebagai garis-garis lurus yang menghubungkan tanda-tanda acuan terlihat pada positif Gambar 28-5. Sumbu *x*, dinyatakan secara sembarang tetapi garis yang paling mendekati sejajar dengan arah terbang, adalah positif pada arah terbang. Sumbu *y* positif adalah 90° berlawanan arah jarum jam dari *x* positif.

Foto-foto vertikal untuk pemetaan topografik diambil dalam jalur-jalur yang biasanya membujur menurut panjang wilayah yang diliput. Jalur-jalur itu *disebut jalur terbang* biasanya mempunyai *pertampalan ke samping* (pertampalan dua jalur terbang yang berdampingan) sebesar 15 sampai 30%. *Pertampalan ke depan* (pertampalan dua foto berdampingan pada satu jalur terbang) biasanya kira-kira 60 ± 5%. Gambar 28-16(a) dan (b) berturut-turut melukiskan pertampalan ke depan dan ke samping. Jika pertampalan ke depan lebih besar daripada 50% semua titik tanah akan nampak dalam paling sedikit dua foto dan beberapa akan terlihat pada tiga foto. Citra yang ada pada tiga buah foto memungkinkan



Gambar 28-6. Skala foto vertikal.

perluasan titik kontrol melalui jalur foto-foto dengan hanya memakai titik kontrol yang ada secara minimal.

28-6. SKALA FOTO UDARA VERTIKAL. Skala biasanya ditafsirkan sebagai perbandingan jarak pada peta dengan jarak itu di tanah, dan seragam seluruh peta karena peta adalah proyeksi ortografik. Skala foto vertikal adalah perbandingan jarak foto dengan jarak di tanah. Karena foto adalah pandangan perspektif, skala berbeda dari titik ke titik menurut perbedaan elevasi tanah.

Pada Gambar 28-6, L adalah stasiun pemotretan sebuah foto vertikal dengan tinggi H di atas datum. Jarak fokus kamera adalah f, dan o adalah titik utama fotografik. Titik-titik A, B, C dan D yang terletak pada elevasi setinggi berturut-turut h_A, h_B, h_C dan h_D di atas datum diproyeksikan pada foto menjadi a, b, c dan d. Skala di sembarang titik dapat dinyatakan berdasar elevasinya, jarak fokus kamera dan tinggi terbang di atas datum. Dari Gambar 28-6 untuk segitiga-segitiga sebangun Lab dan LAB, dapat ditulis persamaan ini:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{La}{LA} \tag{a}$$

Juga dari segitiga-segitiga sebangun Loa dan LO_AA, dapat ditulis hasil serupa:

$$\frac{La}{LA} = \frac{f}{H - h_A} \tag{b}$$

Dengan mempersamakan (a) dan (b), dan mengingat bahwa ab/AB sama dengan skala foto di A dan B, dan menganggap AB sangat pendek, diperoleh persamaan berikut ini untuk skala di A:

$$S_A = \frac{f}{H - h_A} \tag{c}$$

Skala-skala di *B*, *C* dan *D* dapat dinyatakan dengan cara sama sebagai: $S_B = f/(H - h_B)$, $S_C = f/(H - h_C)$, dan $S_D = f/(H - h_D)$.

Nampak dari hubungan-hubungan ini bahwa skala meningkat pada elevasi lebih tinggi dan berkurang pada elevasi lebih rendah. Konsepsi ini terlihat secara grafis pada Gambar 28-6. Jarak-jarak *AB* dan *CD* di tanah adalah sama tetapi jarak *ab* dan *cd* di foto tidak demikian, *cd* adalah lebih panjang dan pada skala yang lebih besar daripada *ab* karena elevasi *CD* lebih tinggi. Secara umum, dengan menghilangkan huruf indeks, skala *S* di sembarang titik yang elevasinya *h* di atas datum dapat dinyatakan sebagai:

$$S = \frac{f}{H - h} \tag{28-1}$$

di mana *S* adalah skala di sembarang titik pada sebuah foto vertikal, *f* jarak fokus kamera, *H* tinggi terbang di atas datum dan *h* elevasi titiknya.

Seringkali lebih disukai untuk memakai skala foto rata-rata, tetapi harus digunakan dengan hati-hati sebagai suatu aproksimasi. Untuk sembarang foto vertikal tanah yang elevasi puratanya adalah h_r di atas datum, skala rata-rata S_r adalah:

$$S_r = \frac{f}{H - h_r} \tag{28-2}$$

CONTOH 28-1

Foto pada Gambar 28-6 dibuat dengan kamera berjarak fokus 6 in pada tinggi terbang 10.000 ft di atas permukaan laut pukul rata. (a) Berapakah skala foto di titik *a* jika elevasi titik *A* di tanah adalah 2500 ft di atas rerata permukaan laut (mean sea level)?

Dari Pers. (28-1):

$$S_A = \frac{f}{H - h_A} = \frac{6 \text{ in}}{10.000 - 2500} = \frac{1''}{1250 \text{ ft}} = 1{:}15.000$$

(b) untuk foto yang sama, jika elevasi tanah purata adalah 4000 ft di atas rerata permukaan laut. berapakah skala foto rata-rata?

Dari Pers. (28-2):

$$S_r = \frac{f}{H - h_r} = \frac{6 \text{ in}}{10.000 - 4000} = \frac{1''}{1000 \text{ ft}} = 1{:}12.000$$

Skala sebuah foto dapat ditentukan dari peta wilayah yang sama. Metode ini tidak mengharuskan jarak fokus dan tinggi terbang diketahui. Yang diperlukan hanya mengukur pada foto sebuah jarak antara dua titik yang jelas dapat dipastikan letaknya di atas peta. Skala foto kemudian dihitung dari persamaan

$$\text{skala foto} = \frac{\text{jarak di foto}}{\text{jarak di peta}} \times \text{skala peta} \tag{28-3}$$

Dalam memakai Pers. (28-3), jarak-jarak harus mempunyai satuan yang sama, dan hasilnya adalah skala pada elevasi rata-rata kedua titik yang dipakai.

CONTOH 28-2

Pada sebuah foto vertikal, panjang sebuah landasan bandar udara terukur 4,24 in. Pada sebuah peta yang digambar dengan skala 1 : 9600 panjang landasan itu adalah 7,92 in. Berapa skala foto pada elevasi landasan?

Dari Pers. (28-3):

$$S = \frac{4{,}24}{7{,}92} \times \frac{1}{9600} = \frac{1}{17.900} \quad \text{atau} \quad 1 \text{ in} = 1495 \text{ ft}$$

Skala sebuah foto dapat pula dihitung dengan mudah jika garis yang panjangnya telah diketahui secara umum nampak dalam foto. Garis-garis seksi, lapangan football atau baseball dan sebagainya, dapat diukur pada foto dan sebuah skala pendekatan pada elevasi itu ditentukan sebagai perbandingan jarak diukur pada foto dengan panjang di tanah yang telah diketahui. Dengan diketahuinya skala foto pendekatan, penentuan secara kasar panjang garis-garis yang nampak dalam foto dapat ditentukan.

CONTOH 28-3

Pada foto Contoh 28-2, sebidang tanah berbentuk empat persegi panjang berukuran 1,74 in kali 0,83 in. Hitunglah ukuran pendekatan di tanah bidang itu dan luasnya. (Catatan: Skala foto telah ditentukan sebesar 1495 ft/in dalam Contoh 28-2).

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 1495 \times 1{,}74 = 2600 \text{ ft} \\ \text{Lebar} &= 1495 \times 0{,}83 = 1240 \text{ ft} \\ \text{Luas} &= \frac{2600 \times 1240}{43.560} = 74 \text{ acre} \end{aligned}$$

28-7. KOORDINAT TERESTRIS (TANAH) DARI FOTO VERTIKAL TUNGGAL. Koordinat tanah titik-titik yang proyeksinya nampak dalam foto vertikal dapat ditentukan terhadap sebuah sistem sumbu di tanah yang dipilih. Sumbu terestris X dan Y yang dipilih, ada dalam bidang vertikal sama dengan (berturut-turut) x dan y, dan pusat sistem sumbu ada pada bidang datum yang tepat vertikal di bawah stasiun pemotretan. Koordinat terestris yang ditentukan dengan cara ini dipakai untuk menghitung jarak-jarak horisontal, sudut-sudut horisontal, dan luas.

Gambar 28-7 melukiskan sebuah foto vertikal diambil dengan tinggi terbang H di atas datum. Proyeksi-proyeksi a dan b dari titik-titik A dan B di tanah nampak pada foto. Koordinat foto terukur adalah x_a, y_a, x_b dan y_b; koordinat terestris X_A, Y_A, X_B dan Y_B. Dari segitiga LO_AA' sebagun dengan Loa',

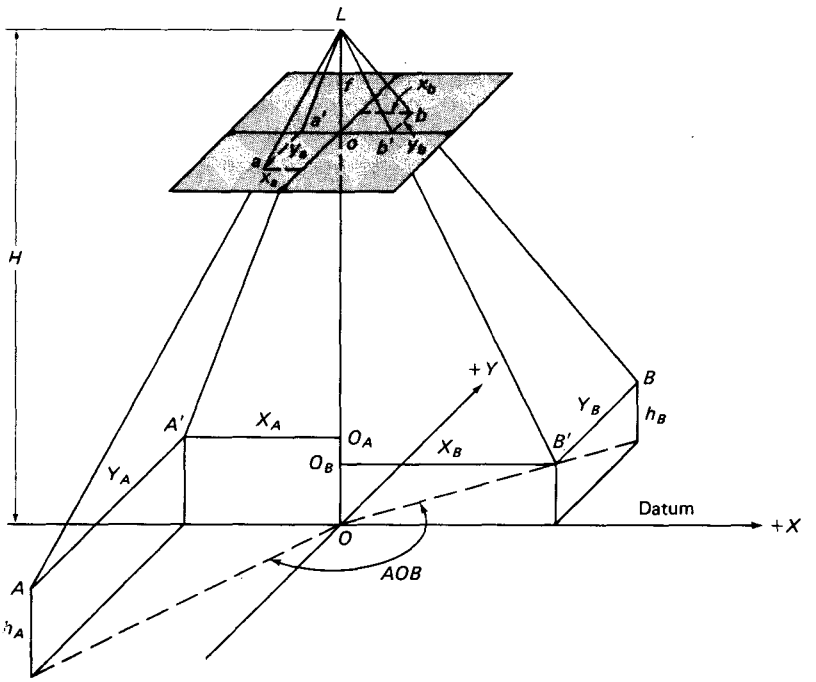
$$\frac{oa'}{O_AA'} = \frac{f}{H - h_A} = \frac{x_a}{X_A}$$

kemudian

$$X_A = \frac{(H - h_A)x_a}{f} \tag{28-4}$$

Juga dari segitiga $LA'A$ sebangun dengan $La'a$,

$$\frac{a'a}{A'A} = \frac{f}{H - h_A} = \frac{y_a}{Y_A}$$



Gambar 28-7. Koordinat tanah dari sebuah foto vertikal.

dan

$$Y_A = \frac{(H - h_A)y_a}{f} \tag{28-5}$$

Dengan cara yang sama,

$$X_B = \frac{(H - h_B)x_b}{f} \tag{28-6}$$

$$Y_B = \frac{(H - h_B)y_b}{f} \tag{28-7}$$

Dari koordinat X dan Y untuk titik-titik A dan B, panjang horisontal garis AB dapat dihitung dengan memakai rumus Pythagoras:

$$AB = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

Luasnya ditentukan dari koordinat X dan Y dengan metode yang dibahas dalam Bab 14. Kebaikan menghitung panjang dan luas dengan rumus koordinat, ketimbang dengan skala rata-rata seperti dalam Contoh 28-3, adalah bahwa diperoleh hasil yang lebih teliti karena selisih-selisih elevasi diperhitungkan dengan ketat.

28-8. PERGESERAN RELIEF (RELIEF DISPLACEMENT) PADA FOTO VERTIKAL. Pergeseran relief pada sebuah foto vertikal adalah pergeseran atau perpindahan sebuah proyeksi dari lokasinya pada datum feoritis disebabkan oleh relief obyeknya – yaitu, elevasinya di atas atau di bawah datum. Pergeseran relief pada sebuah foto vertikal terjadi sepanjang garis-garis memancar (radial) dari titik utama dan makin membesar bila menjauh dari letak proyeksinya.

dan disusun kembali,

$$r_b - r_a = \frac{r_b h_B}{H}$$

Jika $d_b = r_b - r_a$ = pergeseran relief proyeksi b, maka $d_b = r_b h_b/H$ dapat ditulis dalam bentuk umum sebagai

$$d = \frac{rh}{H'} \tag{28-8}$$

di mana d adalah pergeseran relief, r jarak radial pada foto dari titik utama ke bayangan puncak atau titik tinggi, h ketinggian di atas datum puncak atau titik tinggi, dan H' adalah tinggi terbang di atas datum yang sama.

Persamaan (28-8) dipakai untuk menentukan lokasi kedudukan bayangan pada foto di atas datum pada foto vertikal. Sudut horisontal sebenarnya kemudian dapat diambil langsung dari bayangan pada datum, dan jika skala foto pada datum diketahui, panjang garis horisontal sebenarnya diperoleh langsung. Kedudukan datum ditentukan lokasinya dengan mengambil skala pergeseran relief d yang dihitung pada sebuah titik sepanjang garis radial ke titik utama (ke arah dalam atau ke arah tengah untuk titik yang elevasinya di atas datum).

Persamaan (28-8) dapat juga diterapkan dalam menghitung ketinggian obyek-obyek vertikal seperti gedung, menara gereja, menara radio, dan tiang listrik. Untuk menentukan ketinggian memakai persamaan itu, proyeksi puncak maupun dasar obyek harus kelihatan.

CONTOH 28-4

Dalam Gambar 28-8, jarak radial r_b ke proyeksi pangkal tiang listrik adalah 75,23 mm, dan jarak radial r_c ke proyeksi puncaknya adalah 76,45 mm. Tinggi terbang H adalah 4000 ft di atas permukaan laut rata-rata, dan elevasi B adalah 450 ft. Berapakah tinggi tiang?

Pergeseran relief adalah $r_c - r_b = 76{,}45 - 75{,}23 = 1{,}22$ mm.
Memilih sebuah datum di pangkal tiang dan menerapkan Pers.(28-8),

$$d = \frac{rh}{H'} \text{ sehingga } 1{,}22 = \frac{76{,}45h}{4000 - 450}$$

Kemudian

$$h = \frac{3550(1{,}22)}{76{,}45} = 56{,}6 \text{ ft}$$

Persamaan pergeseran relief terutama bermanfaat bagi penafsir foto, yang biasanya lebih berkepentingan dengan ketinggian nisbi daripada elevasi mutlak.

Gambar 28-3 dengan jelas melukiskan pergeseran relief. Foto vertikal ini diambil dari atas ibukota nasional memperlihatkan pergeseran relief Tugu Washington di sebelah kanan atas lembar foto. Pergeseran ini, demikian pula pergeseran gedung-gedung lain di seluruh foto, terjadi radial (memancar ke luar) dari titik utama.

28-9. TINGGI TERBANG FOTO VERTIKAL. Dari paragraf-paragraf sebelumnya ternyata bahwa tinggi terbang di atas datum merupakan parameter penting dalam menyelesaikan persamaan-persamaan dasar fotogrametri. Untuk hitungan kasar, tinggi terbang dapat diambil dari pembacaan altimeter bila tersedia. Sebuah harga H pendekatan juga dapat diperoleh dengan memakai Pers. (28-1) jika sebuah garis yang diketahui panjangnya nampak pada sebuah foto.

CONTOH 28-5

Panjang sebuah garis section diukur pada sebuah foto vertikal didapatkan 4.15 in. Hitunglah tinggi terbang pendekatan di atas tanah jika $f = 6$ in. Dengan menganggap datum pada elevasi garis section itu, Pers. (28-1) dapat dipakai sebagai

$$\text{skala} = \frac{f}{H} \quad \text{dan} \quad \frac{4{,}15}{5280} = \frac{6}{H}$$

sehingga

$$H = \frac{5280 \times 6}{4{,}15} = 7634 \text{ ft di atas tanah}$$

Jika proyeksi-proyeksi (bayangan) dua titik kontrol A dan B nampak pada sebuah foto vertikal, tinggi terbang dapat ditentukan lebih saksama dari dalil Pythagoras:

$$L^2 = (X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2$$

Persamaan (28-4) sampai dengan (28-7) disubstitusi dalam persamaan ini:

$$L^2 = \left[\frac{(H - h_B)x_b - (H - h_A)x_a}{f}\right]^2 + \left[\frac{(H - h_B)y_b - (H - h_A)y_a}{f}\right]^2 \quad (28\text{-}9)$$

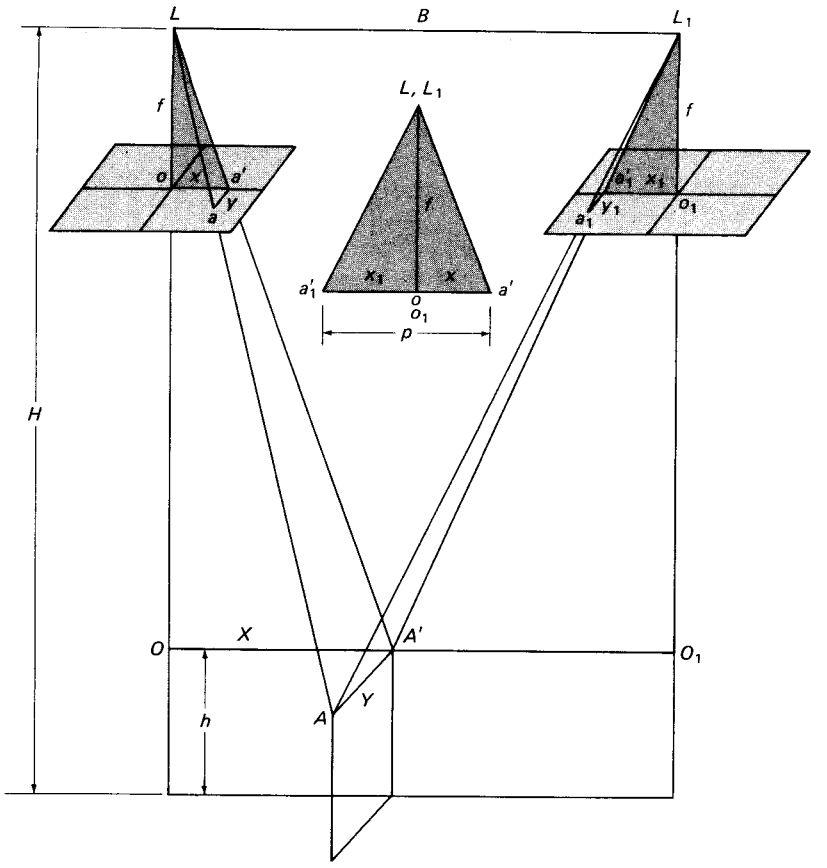
di mana L adalah panjang horisontal garis AB di tanah, H adalah tinggi terbang di atas datum, dan x serta y koordinat foto terukur daripada titik-titik kontrol, h adalah elevasi titik-titik kontrol di atas datum.

Dalam Pers. (28-9), semua variabel kecuali H diketahui; oleh sebab itu dapat diperoleh pemecahan langsung untuk tinggi terbang yang tak diketahui. Persamaannya pangkat dua; sehingga ada dua penyelesaian, tetapi yang benar akan terlihat jelas.

28-10. PARALAKS STEREOSKOPIK. Paralaks diberi batasan sebagai pergeseran nyata kedudukan sebuah obyek terhadap sebuah kerangka acuan karena bergesernya titik pengamatan. Misalnya, seseorang melihat lewat lubang bidik (view finder) sebuah kamera udara di pesawat sewaktu bergerak ke depan melihat bayangan obyek-obyek bergerak melewati bidang pandangan. Gerakan nyata ini (paralaks) karena kedudukan pengamat yang berubah. Memakai format kamera sebagai kerangka acuan, paralaks ada untuk semua bayangan yang muncul pada foto-foto berturutan karena gerakan maju antara pemotretan-pemotretan. Titik-titik yang lebih dekat ke kamera (elevasi lebih tinggi) akan mempunyai paralaks yang lebih besar daripada yang lebih rendah. Untuk pertampalan ke depan 60%, paralaks titik-titik pada foto-foto yang berurutan harus rata-rata sekira 40% dari lebar bidang fokus.

Paralaks sebuah titik adalah fungsi reliefnya dan sebagai akibatnya merupakan alat untuk menghitung elevasi. Juga mungkin untuk menghitung koordinat terestris X dan Y dari paralaks.

Gerakan bayangan melintasi bidang fokus antara pemotretan yang berurutan terjadi pada sebuah garis yang sejajar dengan arah terbang. Jadi untuk mengukur paralaks, arah itu harus ditetapkan dulu. Untuk sepasang foto yang mempunyai pertampalan, ini dikerjakan dengan mencari lokasi kedudukan-kedudukan titik utama dan *titik utama tasrif* (conjugate principal points) (titik utama yang dipindahkan ke kedudukannya di wilayah pertampalan pada foto lain). Garis pada masing-masing foto melalui kedua titik utama tersebut adalah arah terbangnya. Garis itu juga berlaku sebagai sumbu x fotografik untuk pengukur-



Gambar 28-9. Hubungan-hubungan paralaks.

an paralaks. Sumbu y untuk mengadakan pengukuran paralaks ditarik tegaklurus arah terbang melalui titik utama masing-masing foto. Koordinat x sebuah titik diskala pada masing-masing foto terhadap sumbu-sumbu yang dibuat, dan paralaks titik kemudian dihitung dari persamaan:

$$p = x - x_1 \tag{28-10}$$

Koordinat fotografik x dan x_1 diukur pada foto kiri dan foto kanan, berturut-turut dengan memperhatikan tanda-tanda aljabarnya.

Gambar 28-9 melukiskan pasangan foto vertikal bertampalan yang diambil dengan tinggi terbang yang sama yaitu H di atas datum. Jarak antara titik-titik pemotretan L dan L_1 disebut B, atau *basis udara* (air base). Gambar sisipan kecil menunjukkan dua titik pemotretan L dan L_1 diimpitkan untuk memperjelas bahwa segitiga-segitiga $La_1'a'$ dan $LA'L_1$ adalah sebangun. Mempersamakan kedua segitiga sebangun ini diperoleh

$$\frac{p}{f} = \frac{B}{H - h}$$

sehingga diperoleh

$$H - h = \frac{Bf}{p} \tag{28-11}$$

Juga dari segitiga sebangun LOA' dan Loa',

$$X = \frac{x}{f}(H - h)$$

Memasukkan Pers. (28-11) ke dalam persamaan itu,

$$X = \frac{B}{p}x \tag{28-12}$$

Dan dari segitiga-segitiga LAA' dan Laa', dengan substitusi Pers. (28-11),

$$Y = \frac{B}{p}y \tag{28-13}$$

Dalam persamaan-persamaan ini, X dan Y adalah koordinat terestris sebuah titik yang pusat koordinatnya tepat vertikal di bawah titik pemotretan foto kiri, dengan sumbu X positif berimpit dengan arah terbang dan sumbu Y positif 90° lawan arah jarum jam dari X positif. Paralaks titik adalah p, x dan y adalah koordinat fotografik titiknya di foto kiri, H adalah tinggi terbang di atas datum, h adalah elevasi titik itu di atas datum yang sama, dan f adalah jarak fokus lensa kamera.

Persamaan (28-11) sampai dengan (28-13), biasanya disebut persamaan-persamaan paralaks, bermanfaat untuk menghitung panjang garis horisontal dan elevasi titik. Persamaan-persamaan itu juga merupakan basis dasar untuk rancangan dan pemakaian instrumen penggambar stereoskopik (stereoscopic plotting instruments).

CONTOH 28-6

Panjang garis AB dan elevasi-elevasi titik A dan B dari dua foto vertikal yang memuat proyeksi a dan b akan dicari. Tinggi terbang di atas permukaan laut rata-rata adalah 4050 ft dan basis udaranya 2410 ft. Jarak fokus kamera 6-in. Koordinat fotografik terukur dalam inci pada foto kiri adalah x_a = 2,10, x_b = 3,50, y_a = 2,00, dan y_b = –1,05; pada foto kanan, x_{1a} = –2,25 dan x_{1b} = –1,17.

PENYELESAIAN

Dari Pers. (28-10);

$$p_a = x_a - x_{1a} = 2.10 - (-2.25) = 4.35 \text{ in}$$
$$p_b = x_b - x_{1b} = 3.50 - (-1.17) = 4.67 \text{ in}$$

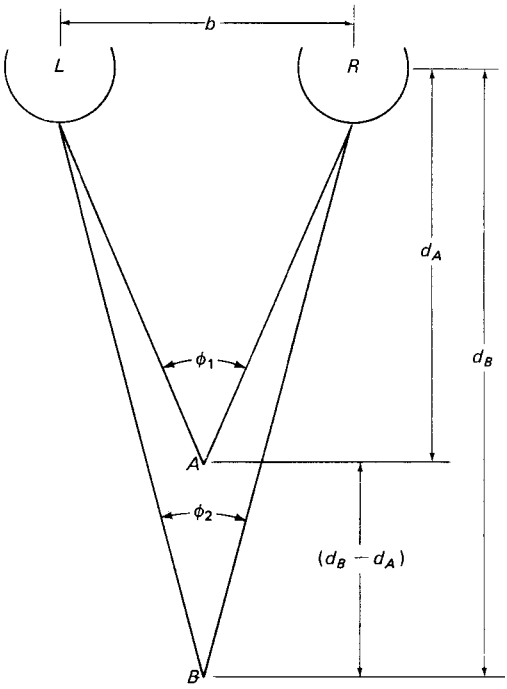
Dengan Pers. (28-12) dan (28-13);

$$X_A = \frac{B}{p_a}x_a = \frac{2410 \times 2{,}10}{4{,}35} = 1163 \text{ ft}$$

$$X_B = \frac{2410 \times 3{,}50}{4{,}67} = 1806 \text{ ft}$$

$$Y_A = \frac{B}{p_a}y_a = \frac{2410 \times 2{,}00}{4{,}35} = 1108 \text{ ft}$$

$$Y_B = \frac{2410 \times (-1{,}05)}{4{,}67} = -542 \text{ ft}$$



Gambar 28-10. Sudut-sudut paralaktik dalam pandangan stereoskopik.

Dari dalil Pythagoras, panjang AB adalah

$$AB = \sqrt{(1806 - 1163)^2 + (-542 - 1108)^2} = 1771 \text{ ft}$$

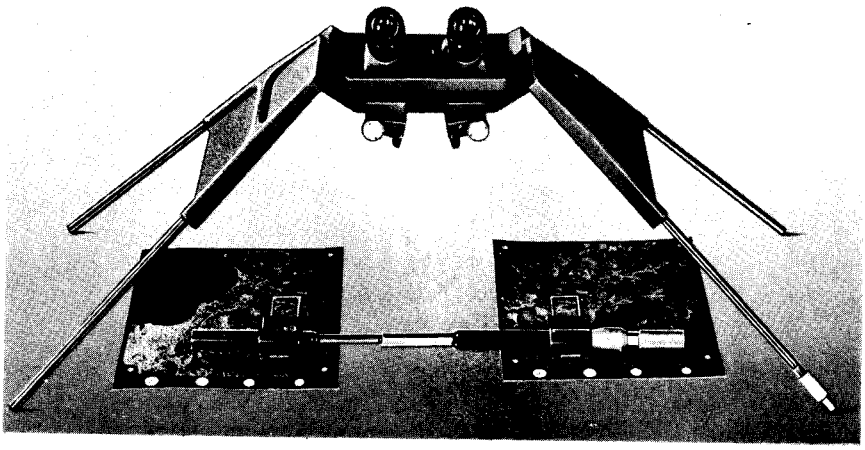
Dengan Pers. (28-11), elevasi-elevasi A dan B adalah

$$h_A = H - \frac{Bf}{p_a} = 4050 - \frac{2410 \times 6}{4{,}35} = 726 \text{ ft}$$

$$h_B = 4050 - \frac{2410 \times 6}{4{,}67} = 954 \text{ ft}$$

28-11. PANDANGAN STEREOSKOPIK. Istilah *pandangan stereoskopik* berarti melihat sebuah obyek dalam tiga dimensi, sebuah proses yang memerlukan seseorang mempunyai pandangan *binokular* (dua-mata) yang normal. Dalam Gambar 28-10 dua *mata L* dan *R* terpisah oleh suatu jarak *b* yang disebut *basis mata* (eye base). Bila mata terpumpun pada titik *A*, kedua sumbu optisnya mengumpul membentuk sudut ϕ_1 dan bila pandangan ke titik *B*, dihasilkan ϕ_2. Sudut-sudut ϕ_1 dan ϕ_2 disebut *sudut-sudut paralaktik* dan otak mengaitkannya dengan jarak-jarak d_A dan d_B. Kedalaman $(d_B - d_A)$ obyek diperoleh dari perbandingan sudut-sudut paralaktik yang tak disadari di dalam otak.

Jika dua foto dari obyek yang sama diambil dari dua perspektif atau kedudukan kamera, foto kiri dilihat dengan mata kiri dan serentak foto kanan dilihat dengan mata kanan, dihasilkan kesan model tiga dimensi dalam pikiran. Dalam pandangan stereoskopik normal *basis mata* memberikan kesan sudut paralaktik. Sewaktu melihat pada foto-foto



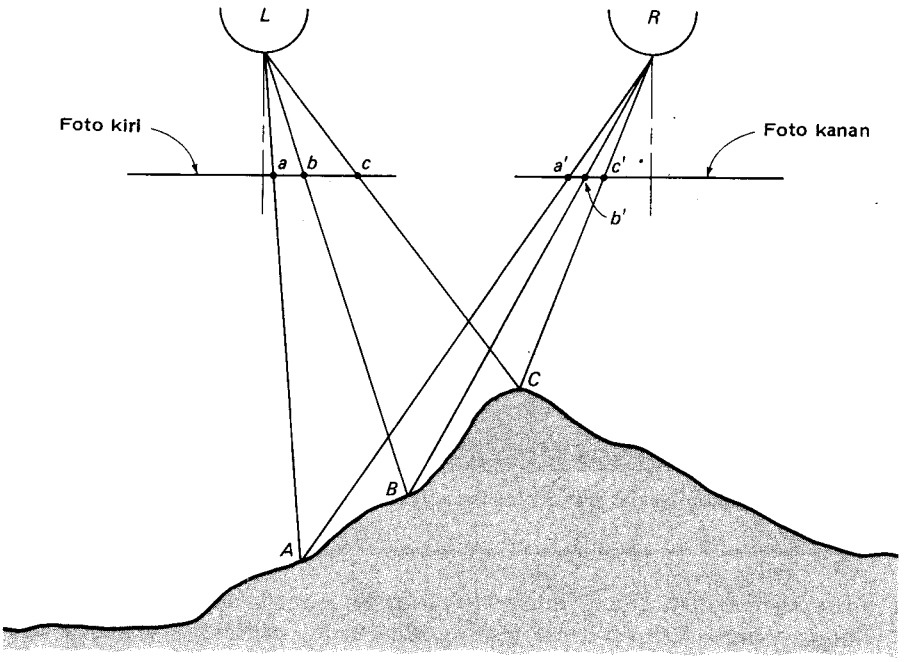
Gambar 28-11. Setereoskop cermin-lipat dengan batang paralaks. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.)

udara secara stereoskopis, selang antara titik-titik pemotretan merangsang sebuah basis mata sehingga pengamat benar-benar melihat sudut-sudut paralaktik sebanding dengan keadaan kalau mata ada pada masing-masing titik pemotretan.

Stereoskop yang terlihat pada Gambar 28-11 memungkinkan memandang foto-foto secara setereoskopis dengan jalan mengatur mata kiri dan kanan untuk terpumpun dengan enak pada foto kiri dan kanan masing-masing, dengan anggapan telah terjadi orientasi benar pada foto berpasangan yang bertampalan di bawah stereoskop. Orientasi yang benar mengharuskan kedua foto diletakkan pada urutan yang sama dengan sewaktu pemotretan, dengan stereoskop dipasang sedemikian rupa sehingga garis yang menghubungkan pusat-pusat lensa sejajar dengan arah terbang. Jarak kedua foto diubah-ubah, dengan cermat diatur agar tetap sejajar kedua garis tadi, sehingga diperoleh model stereoskopik yang jelas.

28-12. PENGUKURAN PARALAKS STEREOSKOPIK. Paralaks sebuah titik dapat diukur sambil mengamati secara stereoskopis yang memberikan keuntungan yaitu cepat dan ketelitian lebih tinggi karena digunakan pandangan binokular. Sewaktu pengamat melihat melalui stereoskop, dua tanda kecil yang kembar digoreskan pada kepingan-kepingan kaca bening yang disebut *tanda tengahan* (half-marks) ditempatkan pada masing-masing foto. Secara serentak pengamat melihat bahwa satu tanda dengan mata kiri dan yang lain dengan mata kanan; kemudian kedudukan-kedudukan tanda digeserkan sehingga keduanya nampak menyatu sebagai satu tanda yang kelihatannya terletak pada suatu elevasi tertentu. Ketinggian tanda akan berubah-ubah atau "mengapung" sewaktu jarak antara kedua tengahan-tanda diubah; karena itu tanda ini disebut *tanda apung* (floating mark). Gambar 28-12 menunjukkan prinsip ini dan juga melukiskan bahwa tanda dapat dipasang tepat pada titik-titik tertentu seperti A, B dan C dengan jalan menempatkan tanda tengahan berturut-turut pada a dan a', b dan b', dan c serta c'.

Memakai prinsip tanda apung, paralaks titik secara stereoskopik diukur dengan sebuah batang paralaks seperti terlihat di bawah stereoskop pada Gambar 28-11. Batang paralaks tak lain adalah sebuah batang di mana dilekatkan kedua tanda-tengahan. Tanda kanan dapat digerakkan terhadap tanda kiri dengan memutar sebuah sekrup mikrometer dan pembacaan diambil pada waktu tanda apung dipasang secara stereoskopis di berbagai titik. Pembacaan-pembacaan mikrometer ditambahkan pada *tetapan pemasangan* (setup constant) barang paralaks untuk memperoleh paralaks.



Gambar 28-12. Prinsip tanda apung.

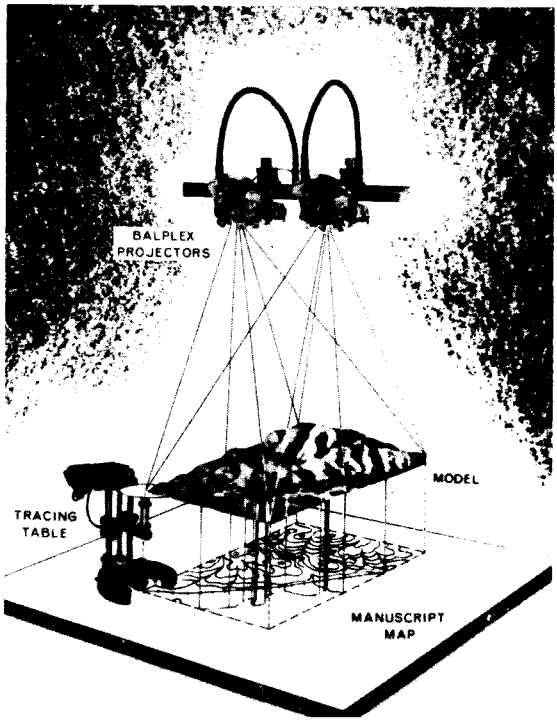
Bila batang paralaks dipakai, dua foto bertampalan diorientasikan dengan baik untuk pengamatan dengan stereoskop cermin dan diikat kuat satu terhadap yang lain pada jarak itu. Tetapan batang paralaks untuk pemasangan itu ditentukan dengan jalan mengukur koordinat foto untuk sebuah titik yang jelas dan menerapkan Pers. (28-10) untuk memperoleh paralaksnya. Tanda apung ditempatkan pada titik yang sama, mikrometer dibaca, dan tetapan untuk pemasangan diperoleh dengan

$$C = p - r \tag{28-14}$$

di mana C adalah tetapan pemasangan batang paralaks, p adalah paralaks titik yang ditentukan dengan Pers. (28-10), dan r adalah pembacaan mikrometer diperoleh dengan tanda apung dipasang pada titik yang sama.

Sekali tetapan telah ditentukan, paralaks sembarang titik dapat dihitung dengan menambahkan pembacaan mikrometernya pada tetapan. Jadi sebuah pengukuran tunggal menghasilkan paralaks sebuah titik. Setiap waktu pasangan foto lain diorientasikan untuk pengukuran paralaks, harus ditentukan sebuah tetapan pemasangan batang paralaks yang baru. Kebaikan utama metode stereoskopik adalah bahwa paralaks titik-titik yang tidak jelaspun dapat ditentukan. Jadi, elevasi puncak bukit, titik di lapangan, dan sebagainya dapat dihitung memakai Pers. (28-11) walaupun koordinat x-nya tak dapat diukur untuk pemakaian dalam Pers. (28-10).

28-13. MESIN-GAMBAR STEREOSKOPIK. Penggunaan utama mesin-gambar stereoskopik adalah untuk menggambar peta topografik dari foto udara bertampalan, tetapi juga dipakai secara luas untuk membuat tampang melintang. Ada dua klasifikasi dasar mesin-gambar stereoskopik: instrumen *proyeksi optis* dan instrumen *proyeksi mekanis*. Masing-masing jenis terdiri dari bagian-bagian umum sebagai berikut: (1) sistem proyeksi (untuk



Gambar 28-13. Proyektor-proyektor Balplex dan model stereoskopik. (Atas kebaikan Bausch and Lomb, Inc.)

menciptakan model setereo), (2) sistem pengamatan (yang memungkinkan pengamat melihat sebuah model stereo atau model ruang), dan (3) sistem pengukuran (penelusuran) (untuk pengukuran atau pemetaan menurut skala model ruang itu).

Sebuah mesin-gambar stereo jenis proyeksi optis dijelaskan dalam Gambar 28-13. Dengan instrumen ini, *diapositif* (positif yang dicetak pada film atau lempengan kaca) dari sepasang foto bertampalan diproyeksikan sedemikian rupa sehingga berkas-berkas sinar yang membawa bayangan benda yang sama dari keduanya, berpotongan membentuk sebuah model ruang. Proyektor-proyektor yang dipakai dalam mesin-gambar stereoskopik proyeksi optis mirip slide proyektor biasa; tetapi, jauh lebih saksama dan dapat diatur dalam orientasi sudut dan kedudukan untuk membentuk kembali sikap dan lokasi-ruang kamera udara, bila foto-foto yang bertampalan dipasang. Ini menghasilkan sebuah model "sebenarnya" daripada tanah dalam wilayah pertampalan pada skala yang amat diperkecil.

Sistem-sistem pandangan mesin-gambar harus dirancang sedemikian rupa sehingga mata kiri hanya melihat bayangan terproyeksi diapositif kiri dan mata kanan hanya melihat bayangan kanan. Satu cara untuk mencapai hal ini adalah dengan menempatkan sebuah filter biru pada satu proyektor dan filter merah pada proyektor lain. Sepasang kaca mata dengan lensa biru dan merah dipakai oleh operator. Sistem pandangan stereoskopis ini disebut cara *anaglifik.* Sistem lain, disebut *SIA* (stereo image alternator, penyemilih bayangan ruang), bekerja dengan alat penutup yang berputar cepat yang ditempatkan pada proyektor-proyektor, dan sebuah okuler pengamat. Alat-alat penutup disinkronisasikan sehingga mata kiri hanya dapat melihat bayangan dari proyektor kiri dan mata kanan hanya dapat melihat bayangan dari proyektor kanan. Sistem SIA memberikan beberapa keuntungan dibanding dengan sistem anaglifik, misalnya kemampuan memakai foto berwarna, bayangan proyektor yang lebih tajam, dan berkurangnya sinar yang hilang.

Berbagai sistem pengukuran dan pelacakan telah dibuat untuk mesin gambar. Dalam instrumen Balplex (lihat Gambar 28-13), berkas sinar yang membawa bayangan-bayangan yang bersangkutan dicegat pada *bidang meja pelacak* (piringan bulat kecil berwarna putih). Sebuah sinar yang dipancarkan lewat sebuah lubang jarum pada bidang meja, merupakan tanda apung yang dapat dibuat nampak terletak tepat pada sebuah titik dalam model dengan jalan menaikkan atau menurunkannya. Sebuah pensil pelacak ditempatkan tepat di bawah tanda apung menepatkan letak titik secara planimetris. Sebuah alat penghitung (counter) dihubungkan dengan meja pelacak yang menunjukkan angka sesuai dengan gerakan naik-turunnya meja pelacak sedemikian rupa sehingga elevasi sembarang pemasangan letak tanda apung dapat dibaca langsung.

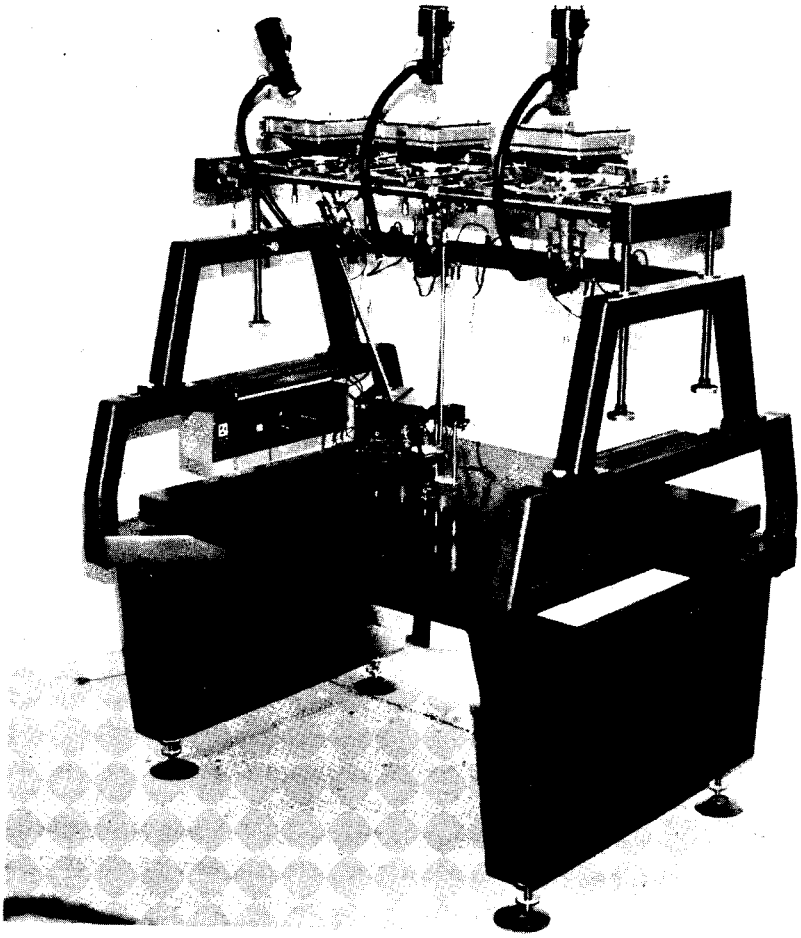
Bila diapositif ditempatkan dalam proyektor-proyektor dan lampu-lampu dihidupkan, sinar-sinar yang bersangkutan tidak akan berpotongan dengan benar sehingga terbentuk model yang jelas karena adanya kemiringan pada foto (tak disengaja), terbang tak sama tinggi, dan tentu saja karena belum adanya orientasi proyektor. Proyektor-proyektor dapat digerakkan dengan linier sepanjang sumbu-sumbu *X, Y* dan *Z* dan juga berputar mengelilinginya masing-masing sehingga diapositif menghasilkan kembali keadaan nisbi yang ada pada waktu pemotretan. Ini disebut *oriental nisbi* (*relatif*) dan bila telah dilaksanakan, sinar-sinar yang bersangkutan akan berpotongan membentuk sebuah model tiga-dimensi yang sempurna.

Model itu diatur sesuai dengan skala yang diperlukan dengan jalan membuat sinar-sinar dari minimal dua, tetapi lebih baik tiga buah titik kontrol berpotongan pada posisi-posisinya yang tergambar pada sebuah peta persiapan (manuskrip) yang disiapkan pada skala yang diinginkan. Penyipatan datar (penentuan tinggi) dilakukan dengan jalan mengatur proyektor-proyektor sehingga alat penghitung memberikan pembacaan elevasi yang benar pada paling sedikit tiga, lebih disukai empat buah titik kontrol yang terletak di sudut-sudut sewaktu tanda apung ditetapkan padanya. Proses menentukan skala dan penyipatan datar model disebut *orientasi mutlak* (*absolut*).

Bila orientasi telah selesai, pengukuran-pengukuran seperti tampang melintang dapat dibuat dari model, atau dapat diselesaikan sebuah peta. Pembacaan tampang melintang untuk dipakai dalam perencanaan jalan raya, penentuan volume lubang-galian-sumbang dan timbunan material, serta pemetaan wilayah banjir telah sangat dipermudah akhir-akhir ini dengan pemakaian sistem keluaran digital (digital output) yang dirakit dengan mesin-gambar stereo. Dalam pemetaan, mula-mula detail-detail planimetrik ditentukan lokasinya dengan jalan menempelkan tanda apung pada obyek dalam model dan kemudian menelusuri batasannya. Sebuah pensil yang tepat di bawah titik acuan mencatat lokasinya pada peta manuskrip di bawahnya. Garis tinggi dilacak dengan jalan menyetel alat penghitung elevasi berturut-turut masing-masing pada elevasi garis tinggi dan menggerakkan tanda acuan (tanda apung) pada model tetapi dengan tetap menjaga agar selalu menempel di permukaan tanah. Dengan gerakan ini pensil membentuk garis tinggi. Bila peta manuskrip telah selesai, kemudian diperiksa untuk mencari hal-hal yang terlewat atau salah dan diadakan pengecekan lapangan. Peta hasil akhirnya digambar atau dibuat dengan sistem goresan mengikuti garis-garisnya.

Gambar 28-14 memperlihatkan sebuah mesin gambar stereo Kelsh (proyeksi optis) yang mempunyai tiga proyektor. Kebaikan alat ini adalah dapat dilaksanakannya orientasi dua model stereo (model ruang) yang berdampingan secara serentak.

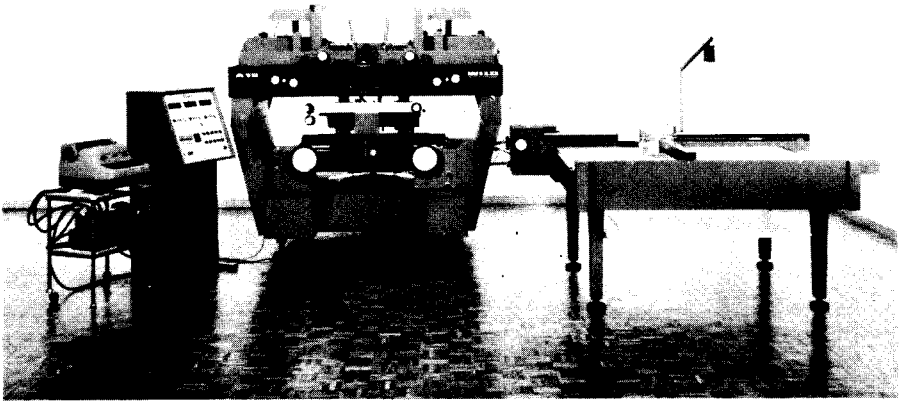
Mesin-gambar-stereo proyeksi mekanis memakai dua batang logam bergerak dalam ruang yang dibuat dengan saksama, sebagai pengganti berkas sinar. Diapositif diamati lewat teropong ganda melalui serangkaian lensa dan prisma optis. Tanda apung, terdiri atas dua setengah-tanda tertumpang pada rangkaian optis, digerakkan naik turun dengan memutar sebuah sekrup tangan atau piringan yang diputar dengan kaki, dan didorong pada arah-arah



Gambar 28-14. Instrumen mesin-gambar-stereo Kelsh dengan tiga proyektor. (Atas kebaikan Kelsh Instrumen Division, Danko Arlington, Inc.)

X dan Y, baik dengan tangan (manual) atau dengan roda digerakkan dengan tangan. Instrumen yang dilengkapi dengan sebuah koordinatograf menyebabkan garis-garis bidang (planimetri) dapat langsung ditelusur pada manuskrip, dan X– Y-nya (koordinat) dibaca. Gambar 28-15 memperlihatkan alat-gambar-stereo proyeksi mekanis Wild A-10 dengan tambahan koordinatograf terpasang di sebelah kanan di mana petanya disusun.

28-14. FOTOGRAMETRI ANALITIS. Dalam tahun-tahun terakhir ini, dengan kehadiran komputer elektronik kecepatan-tinggi, banyak pekerjaan dengan mesin gambar stereoskopik sekarang dilaksanakan lebih hemat dengan cara fotogrametri analitis. Ilmu ini melibatkan pengukuran koordinat bayangan fotografik secara saksama, dan konstruksi sebuah model matematis yang dapat diselesaikan dengan metode numeris. Prosedur fotogrametri analitis adalah sangat teliti dan terutama baik dipakai untuk menetapkan titik kontrol vertikal dan horisontal melalui *triangulasi udara*. Ketelitian sebesar $\frac{1}{15.000}$ tinggi terbang mudah diperoleh untuk koordinat tanah X dan Y terhitung, dan $\frac{1}{10.000}$ H untuk koordinat Z. Jadi untuk foto yang dibuat dari ketinggian 6000 ft, X dan Y dapat dihitung dengan benar dalam batas sekitar 0,4 ft dan Z dalam batas kira-kira 0,6 ft.



Gambar 28-15. Autograph A-10, mesin-gambar-sterro proyeksi mekanis, dengan koordinatograf dan perlengkapan-perlengkapan lainnya. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.)

28-15. ORTOFOTO. Seperti dinyatakan oleh namanya, ortofoto adalah penyajian ortografik tanah dalam bentuk foto. Foto-foto itu dijabarkan dari foto udara dalam sebuah proses yang disebut *rektifikasi diferensial,* yang menghilangkan keragaman skala dan pergeseran bayangan karena adanya relief dan kemiringan. Jadi ciri-ciri bayangan ditunjukkan dalam kedudukan planimetris sebenarnya.

Instrumen yang dipakai untuk rektifikasi diferensial sangat berbeda-beda rancangannya, tetapi pada dasarnya adalah mesin gambar stereoskopik yang diubah, dengan proyeksi optis atau mekanis. Memakai instrumen proyeksi optis, sebuah ortofoto dijabarkan dengan jalan *menatap* (scanning) sebuah model stereo secara sistematis dan memotretnya dalam serangkaian jalur sempit yang berdampingan. *Rektifikasi* (menghilangkan kemiringan) dilaksanakan dengan jalan menyipat datarkan model pada titik kontrol sebelum penatapan, dan keragaman skala karena relief tanah dihilangkan dengan jalan memberikan jarak proyeksi yang berbeda-beda selama penatapan. Sewaktu instrumen secara otomatis menjelajahi model maju mundur, pemotretan dilaksanakan melalui celah sempit terhadap ortonegatif yang ada di bawahnya. Seorang operator, mengamati modelnya dalam tiga dimensi, terus-menerus memantau tatapan dan mengatur jarak proyeksi untuk menjaga agar celah pemotretan selalu menempel dengan model. Karena model itu sendiri mempunyai skala seragam menyeluruh, *ortonegatif* yang dihasilkan (dari mana dibuat ortofoto) juga mempunyai skala yang seragam.

Ortofoto menggabungkan kebaikan-kebaikan foto udara dan peta garis. Seperti foto menunjukkan ciri-ciri menurut bayangan benda sebenarnya dan bukan garis dan simbul, sehingga menyebabkan lebih mudah ditafsirkan dan dimengerti. Seperti peta, menunjukkan gejala atau ciri-ciri dalam kedudukan-kedudukan planimetriknya yang sebenarnya. Oleh karena itu jarak, sudut dan luas sebenarnya dapat diambil langsung dengan skala dari padanya. Pada umumnya ortofoto dapat dibuat lebih cepat dan lebih ekonomis daripada peta planimetrik garis atau simbul. Dengan banyak kebaikan penting, ortofoto telah melampaui peta konvensional dalam banyak pemakaian.

28-16. TITIK KONTROL UNTUK FOTOGRAMETRI. Seperti dikemukakan dalam paragraf-paragraf terdahulu, hampir semua tahap fotogrametri tergantung pada titik kontrol

(titik-titik yang diketahui kedudukan dan elevasinya dengan proyeksi-proyeksinya yang terlihat pada foto). Titik kontrol dapat berupa *titik kontrol dasar* – tugu-tugu triangulasi, poligon, atau trilaterasi dan titik tetap duga yang telah ada, dan diberi tanda sebelum pemotretan agar terlihat pada foto; atau dapat berupa *titik kontrol foto* – titik-titik alami yang bayangannya dapat dikenal pada foto dan kedudukan-kedudukannya yang belakangan dapat ditentukan dengan pengukuran di tanah berawal dari titik kontrol dasar. Instrumen-instrumen dan prosedur yang dipakai dalam pengukuran di tanah dijelaskan dalam bab-bab sebelumnya. Biasanya, titik kontrol foto dipilih setelah pemotretan untuk menjamin lokasinya yang memuaskan dan identifikasi yang pasti. Pemberian tanda-awal pada titik dengan sasaran buatan kadang-kadang perlu pada wilayah yang kurang obyek alamiahnya untuk memberikan proyeksi bayangan yang pasti.

28-17. PERENCANAAN PENERBANGAN. Faktor-faktor tertentu, biasanya tergantung pada tujuan pemotretan, harus ditentukan untuk pedoman awak pesawat dalam melaksanakan pemotretan udara. Beberapa di antaranya adalah (a) batas-batas wilayah yang diliput, (b) skala foto yang diperlukan, (c) jarak fokus (jarak pumpun) kamera dan ukuran format, (d) pertampalan memanjang (ke depan), dan (e) pertampalan ke samping. Setelah ditetapkannya unsur-unsur ini, sekarang telah dapat dihitung seluruh rencana penerbangan dan dipersiapkan sebuah peta penerbangan di mana jalur-jalur terbang yang diperlukan telah digariskan. Penerbang menerbangkan pesawatnya menurut jalur yang telah ditentukan dengan jalan memilih dan menentukan arah berpedoman pada ciri-ciri alami yang ada di lapangan seperti terlihat pada peta penerbangan.

Tujuan pemotretan adalah pertimbangan paling utama dalam perencanaan penerbangan. Dalam pengambilan foto udara untuk pemetaan topografik dengan mesin-gambar-stereo misalnya, pertampalan ke depan yang optimal sebaiknya 60% dan pertampalan ke samping antara 25 dan 35%. Skala yang diperlukan dan interval garis tinggi peta hasil akhir harus dievaluasi untuk menentukan tinggi terbang. Kemampuan perbesaran dari skala foto ke peta adalah terbatas bagi semua mesin-gambar-stereo, dan banyak di antaranya mempunyai perbandingan optimum 5X. Dengan instrumen demikian, jika skala peta yang diperlukan adalah 200 ft/in, skala foto menjadi tetap pada 1000 ft/in. Jika jarak pumpun (jarak fokus) kamera adalah 5 in, dengan Pers. (28-2) tinggi terbang diperoleh sebagai $6 \times 1000 = 6000$ ft di atas tanah rata-rata.

Faktor-C (perbandingan antara tinggi terbang di atas tanah dengan interval garis tinggi yang praktis untuk suatu mesin-gambar-stereo tertentu) adalah kriteria yang dipakai untuk memilih tinggi terbang dalam kaitannya dengan interval garis tinggi yang diperlukan. Ini telah ditentukan untuk berbagai mesin gambar, dan harga-harganya berkisar dari kira-kira 800 sampai sekitar 2000. Jadi, jika sebuah mesin-gambar mempunyai faktor-C misalnya 1200, dan sebuah peta akan dibuat dengan interval garis tinggi 5-ft, harus diatur agar tinggi terbang tidak lebih dari $1200 \times 5 = 6000$ ft di atas tanah.

Keterangan yang biasanya dihitung dalam perencanaan penerbangan termasuk (1) tinggi terbang di atas permukan laut rata-rata; (2) jarak antara dua pemotretan berturutan; (3) jumlah foto tiap jalur terbang; (4) jarak antara dua jalur terbang; (5) jumlah jalur terbang; dan (6) jumlah seluruh foto. Sebuah rencana penerbangan disiapkan berdasar pada butir-butir ini.

CONTOH 28-7

Sebuah rencana penerbangan diperlukan untuk sebuah wilayah lebar 10 mil dan panjang 15 mil. Tanah rata-rata dalam wilayah adalah 1500 ft di atas permukaan laut rata-rata. Kamera mempunyai jarak pumpun 6 in dan formatnya 9×9 in. Pertampalan ke depan akan dibuat 60% dan pertampalan ke samping 25%. Skala foto yang diperlukan adalah

1 : 12.000.

a. Tinggi terbang di atas datum dari Pers. (28-2):

$$\text{skala} = \frac{f}{H - h_r} \quad \text{jadi} \quad \frac{1}{12.000} = \frac{6/12}{H - 1500} \quad \text{dan} \quad H = 7500 \text{ ft}$$

b. Jarak antara dua pemotretan berturutan: Pertampalan ke depan adalah 60% sehingga gerak maju ke depan tiap foto adalah 40% dari liputan seluruhnya yaitu 9 in × 1000 ft/in = 9000 ft.
Jadi jarak antara dua pemotretan berturutan = 0,4 × 9000 = 3600 ft.

c. Jumlah foto tiap jalur terbang:

panjang masing-masing jalur terbang = 15 mil × 5280 ft/mil = 79.200 ft

$$\text{jumlah foto tiap jalur terbang} = \frac{79.200}{3600 \text{ ft/foto}} = 22$$

Tambahkan dua foto pada tiap ujung untuk menjamin liputan menyeluruh, sehingga jumlah seluruhnya adalah 22 + 2 + 2 = 26 foto tiap jalur terbang.

d. Jarak antara jalur-jalur terbang: Pertampalan ke samping adalah 25% sehingga kemajuan gerak ke samping tiap jalur terbang adalah 75% dari seluruh liputan foto.

jarak antara jalur-jalur terbang = 0,75 × 9000 ft = 6750 ft

e. Banyaknya jalur terbang:

lebar wilayah = 10 mil × 5280 ft/mil = 52.800 ft

Jumlah selang antara jalur-jalur terbang adalah:

$$\text{jumlah} = \frac{52.800 \text{ ft}}{6750 \text{ ft/garis (jalur)}} = 7{,}8 \text{ (dibulatkan menjadi 8)}$$

jumlah seluruh jalur terbang = 8 + 1 = 9

$$\text{Selang yang direncanakan antara jalur-jalur terbang} = \frac{52.800}{8} = 6600 \text{ ft}$$

Catatan: Jalur-jalur terbang pertama dan terakhir harus berimpit dengan atau ada di dekat tepi wilayah, jadi memberi faktor keamanan untuk menjamin liputan menyeluruh.

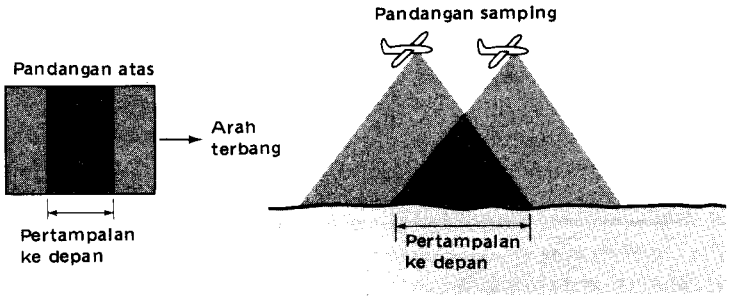
f. Jumlah seluruh foto yang diperlukan:

jumlah seluruh foto = 26/jalur terbang × 9 jalur terbang = 234 foto

Gambar 28-16(a) dan (b) melukiskan pertampalan ke depan dan pertampalan ke samping, dan (c) memperlihatkan peta penerbangan.

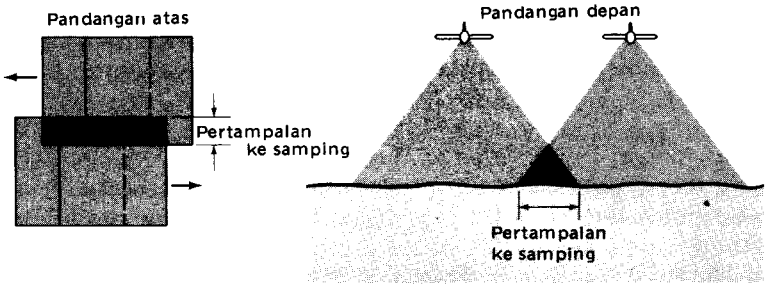
28-18. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM FOTOGRAMETRI. Beberapa sumber galat dalam pekerjaan fotogrametrik adalah:

1. Mengukur skala tidak dengan panjang baku.
2. Lokasi titik utama dan titik utama tasrif yang tak teliti.
3. Kelalaian memakai data teraan kamera.
4. Menganggap pemotretan vertikal padahal sebenarnya miring.
5. Menganggap tinggi terbang sama padahal tidak sama.



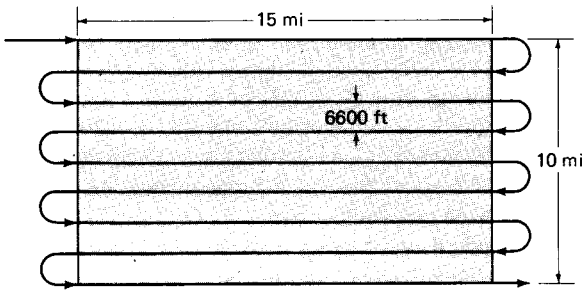
Pertampalan ke depan kira-kira 60%

(a)



Pertampalan ke samping kira-kira 25%

(b)



Peta penerbangan

(c)

Gambar 28-16. Pertampalan ke depan, pertampalan ke samping dan peta penerbangan.

6. Tidak memperhitungkan pengerutan dan pengembangan foto tercetak.
7. Orientasi foto yang tidak benar di bawah stereoskop atau dalam mesin gambar stereoskopik.
8. Penepatan tanda apung yang tidak tepat pada titik.

28-19. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan besar yang terjadi dalam fotogrametri adalah:

1. Membaca pengukuran skala secara tidak benar.
2. Keliru dalam satuan– misalnya, inci dan milimeter.
3. Kekacauan dalam mengenal titik-titik yang bersangkutan pada foto yang berbeda.
4. Mengabaikan pergeseran relief.

5. Kelalaian menyediakan titik kontrol yang benar atau memakai koordinat titik kontrol yang salah.
6. Memberi tanda aljabar yang salah (plus atau minus) pada koordinat fotografik terukur.
7. Kecerobohan dalam hitungan.
8. Salah mengenal titik bayangan-titik kontrol.

SOAL-SOAL

28-1. Jelaskan arti istilah-istilah (a) fotogrametri, (b) penafsiran foto, dan (c) penginderaan jauh.

28-2. Uraikan kebaikan-kebaikan pembuatan peta secara fotogrametris.

28-3. Sebutkan bagian-bagian utama sebuah kamera udara kerangka lensa-tunggal.

28-4. Jarak antara dua titik pada sebuah foto vertikal adalah ab dan jarak yang bersangkutan di tanah adalah AB. Untuk data berikut ini, hitunglah skala foto.
(a) ab = 2,49 in; AB = 2910 ft
(b) ab = 3,86 in; AB = 4125 ft
(c) ab = 103,76 mm; AB = 3575 m

28-5. Pada sebuah foto vertikal tanah datar, titik-titik sudut section terletak berjarak X. Jika jarak pumpun kamera adalah f, hitunglah tinggi terbang di atas tanah untuk data berikut ini:
(a) X = 5,86 in; $f = 8\frac{1}{4}$ in
(b) X = 65,85 mm; f = 152,4 mm

28-6. Pada sebuah foto vertikal tanah datar, jarak terskala antara dua titik adalah ab. Dalam soal-soal berikut hitunglah skala foto rata-rata sepanjang ab jika panjang terukur antara garis yang sama adalah AB pada sebuah peta yang digambar dengan skala S.
(a) ab = 2,84 in; AB = 3,76 in; S = 1 : 10.000
(b) ab = 110,64 mm; AB = 3,82 in; S = 1 : 24.000

28-7. Berapakah skala foto vertikal rata-rata untuk soal-soal berikut ini, bila diberikan tinggi terbang di atas permukaan laut H, jarak pumpun kamera f, dan elevasi tanah rata-rata adalah h?
(a) H = 7500 ft; f = 6 in; h = 1450 ft
(b) H = 5500 ft; $f = 8\frac{1}{4}$ in; h = 925 ft
(c) H = 3500 m; f = 88,90 mm; h = 654 ft

28-8. Pada sebuah foto vertikal panjang sebuah lapangan "football" dari tiang gawang ke tiang gawang diskala 12,82 mm. Hitung ukuran sebuah gedung besar berbentuk empat persegi-panjang yang juga nampak dalam foto ini dan sisi-sisinya terukur 2,15 in × 1,40 in.

28-9. Hitunglah luas (dalam acre) sebidang tanah berbentuk segitiga yang sisi-sisinya berukuran 53,27 mm, 48,05 mm, dan 71,56 pada sebuah foto vertikal diambil dari ketinggian 6000 ft di atas tanah rata-rata dengan kamera berjarak fokus $8\frac{1}{4}$ in.

28-10. Hitunglah tinggi terbang di atas tanah rata-rata yang diperlukan untuk memperoleh foto vertikal guna pembentukan mosaik dengan skala rata-rata S jika jarak pumpun kamera adalah f, untuk data berikut.
(a) S = 1 : 5000; $f = 8\frac{1}{4}$ in
(b) S = 1 : 10.000; f = 152,4 mm

28-11. Tentukan jarak horisontal antara dua titik A dan B yang elevasinya di atas datum adalah h_A = 1560 ft dan h_B = 1425 ft, dan yang mempunyai koordinat foto untuk bayangannya yaitu a dan b x_a = 2,59 in, x_b = −1,46 in, y_a = 2,32 in, y_b = −2,66 in dalam sebuah foto vertikal. Jarak fokus kamera adalah 152,4 mm dan tinggi terbang di atas datum 9000 ft.

28-12. Serupa Soal 28-11, kecuali bahwa jarak fokus kamera adalah $3\frac{1}{2}$ in, tinggi terbang di atas datum 4500 ft, elevasi h_A = 955 ft dan h_B = 1115 ft dan koordinat foto

titik-titik proyeksinya yaitu a dan b adalah $x_a = 89{,}92$ mm, $y_a = -17{,}02$ mm, $x_b = -89{,}41$ mm dan $y_b = 57{,}40$ mm.

28-13. Pada foto dalam Soal 28-11, nampak bayangan c titik ketiga yaitu C. Elevasinya $h_C = 1390$ dan koordinat fotonya $x_c = 3{,}06$ in dan $y_c = -2{,}53$ in. Hitung sudut-sudut horisontal dalam segitiga ABC.

28-14. Pada foto dalam Soal 28-12, nampak d yaitu bayangan titik ketiga D. Elevasinya $h_D = 1060$ dan koordinat fotonya adalah $x_d = 62{,}05$ mm dan $y_d = 70{,}28$ mm. Hitunglah luas segitiga ABD dalam acre.

28-15. Hitunglah tinggi menara radio yang nampak pada sebuah foto vertikal untuk kondisi berikut yaitu H' tinggi terbang di atas dasar menara, r_b adalah jarak pada foto dari titik utama ke dasar menara (pangkal menara), dan jarak dari titik utama ke puncak menara adalah r_t.

(a) $H' = 6800$ ft; $r_b = 2{,}795$ in; $r_t = 3{,}030$ in

(b) $H' = 5500$ ft; $r_b = 86{,}57$ mm; $r_t = 95{,}82$ mm

28-16. Sebuah wilayah mempunyai elevasi tanah rata-rata 1250 ft di atas permukaan laut rata-rata dan titiknya yang tertinggi adalah 75 ft di atas tanah rata-rata. Jika lubang bidang fokus kamera adalah 9 × 9 in, berapakah tinggi terbang di atas permukaan laut rata-rata yang akan membatasi pergeseran relief sampai maksimum 0,05 in pada sebuah foto vertikal wilayah ini?

28-17. Pada sebuah foto vertikal, bayangan a dan b dari titik A dan B di tanah mempunyai koordinat fotografik $x_a = 3{,}47$ in, $y_a = 2{,}38$ in, $x_b = -1{,}85$ in dan $y_b = -2{,}42$ in. Jarak horisontal antara A dan B adalah 5350 ft dan elevasi-elevasi A dan B di atas datum adalah 562 ft dan 685 ft. Hitunglah tinggi terbang di atas datum untuk kamera dengan jarak fokus 152,4 mm.

28-18. Serupa Soal 28-17, kecuali $x_a = -62{,}35$ mm, $y_a = 89{,}76$ mm, $x_b = -6{,}30$ mm, $y_b = -95{,}29$ mm, panjang garis $AB = 4965$ ft dan elevasi titik-titik A dan B berturut-turut adalah 825 dan 727 ft.

28-19. Sepasang foto vertikal yang bertampalan mempunyai basis (jarak pemotretan) 3250 ft diambil dengan tinggi terbang 8500 ft di atas permukaan laut rata-rata dengan kamera berjarak fokus $8\frac{1}{4}$ in. Koordinat foto titik-titik A dan B di foto kiri adalah $x_a = 40{,}05$ mm, $y_a = 48{,}20$ mm, $x_b = 22{,}95$ mm dan $y_b = -29{,}15$ mm. Foto koordinat x pada foto kanan adalah $x_a = -59{,}86$ mm dan $x_b = -71{,}92$ mm. Hitunglah jarak horisontal AB.

28-20. Serupa Soal 28-19, kecuali jarak pemotretan 7430 ft, tinggi terbang di atas permukaan laut rata-rata 15.250 ft, jarak fokus kamera - 152,4 mm, koordinat foto x dan y di foto kiri $x_a = 39{,}78$ mm, $y_a = 70{,}45$ mm, $x_b = 26{,}43$ mm dan $y_b = -66{,}09$ mm, dan foto koordinat x di foto kanan $x_a = -51{,}27$ mm dan $x_b = -61{,}78$ mm.

28-21. Hitunglah elevasi titik A dan B pada Soal 28-19.

28-22. Hitunglah elevasi titik A dan B pada Soal 28-20.

28-23. Sepasang foto vertikal yang bertampalan diorientasikan dan dipasang di bawah sebuah stereoskop cermin; sebuah batang paralaks dibaca pada sebuah titik a diperoleh $r_a = 14{,}32$ mm. Koordinat foto x pada titik a adalah 2,41 in di foto kiri dan $-1{,}17$ in di foto kanan. Jarak fokus kamera adalah 152,4 mm, tinggi terbang di atas datum adalah 10.450 ft, dan jarak pemotretan 4160 ft. Tentukan selisih elevasi antara titik B dan C jika pembacaan paralaksnya adalah $r_b = 15{,}69$ mm dan $r_c = 14{,}89$ mm.

28-24. Bandingkan sebuah ortofoto dengan sebuah peta garis dan simbul konvensional.

28-25. Bagaimana ortofoto disiapkan?

28-26. Uraikan kebaikan-kebaikan ortofoto dibandingkan dengan peta dan mosaik.

28-27. Uraikan berbagai sistem pandangan dalam instrumen-instrumen mesin gambar stereo proyeksi optis.

Pemotretan udara akan dilaksanakan pada bidang tanah seluas X mil persegi. Tinggi terbangnya diambil H' ft di atas tanah rata-rata, dan kameranya mempunyai jarak pumpun

f. Jika lubang bidang fokus adalah 9 × 9 in dan pertampalan ke samping minimum 30%, berapa banyak jalur terbang yang diperlukan untuk meliput bidang tanah itu untuk data yang diberikan dalam Soal 28-28 dan 28-29!

28-28. $X = 10$; $H' = 6000$; $f = 6$ in

28-29. $X = 36$; $H' = 15.000$; $f = 8\frac{1}{4}$ in

Pemotretan udara telah dilakukan dengan tinggi terbang H' ft di atas tanah rata-rata. Jika jarak pumpun kamera f, ukuran bidang fokus 9 × 9 in, selang antara jalur terbang yang berdampingan X ft, berapa prosenkah pertampalan ke samping untuk data yang diberikan dalam Soal 28-30 dan 28-31?

28-30. $H' = 4100$; $f = 152{,}4$ mm; $X = 4500$

28-31. $H' = 6200$; $f = 3\frac{1}{2}$ in; $X = 11.800$

Untuk meliput sebuah wilayah seluas X mil persegi, diperlukan foto-foto dengan skala S. Kameranya mempunyai jarak pumpun f dan ukuran bidang fokus 9 × 9 in. Jika pertampalan ke depan 60% dan pertampalan ke samping 30%, berapa banyak foto akan diperlukan untuk meliput wilayah itu dengan data yang diberikan dalam Soal 28-32 dan 28-33?

28-32. $S = 1 : 12.000$; $X = 20$; $f = 152{,}4$ mm

28-33. $S = 1 : 14.400$; $X = 48$; $f = 3\frac{1}{2}$ in.

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Photogrammetry. 1980. *Buku Petunjuk Fotogrametri,* edisi ke-4. Falls Church, Va.: American Society of Photogrammetry.

Croom, C.H. 1973. "Bagaimana Fotogrametri Membantu Juru-Ukur." *Surveying and Mapping* 33 (no. 4): 491.

Derenyi, E.E., dan A. Maarek, 1974. "Perluasan Titik Kontrol Fotogrametrik untuk Perencanaan Jalur Lintas." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 100(no. SU1): 49.

Eldridge, W.H. 1967. "Fotogrametri untuk Pengukuran Tanah Hak Milik." *Surveying and Mapping* 27 (no. 1): 63.

Moffitt, F.H., dan E. Mikhail. 1980. *Fotogrametri,* edisi ke-3. New York: Harper & Row.

Wolf, P.R. 1983. *Unsur-unsur Fotogrametri,* edisi ke-2. New York: McGraw-Hill.

APENDIKS A

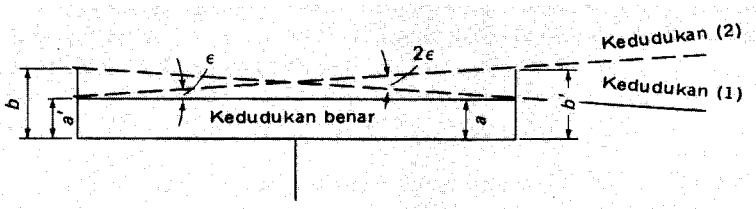
MENGUJI DAN MENGATUR INSTRUMEN

A-1. PENGANTAR. Instrumen pengukuran tanah dirancang dan dikonstruksi untuk memberikan pengukuran horisontal dan vertikal yang benar. Sebuah instrumen yang baik, dipakai dan dipelihara dengan baik, dapat tetap teratur selama berbulan-bulan atau lebih dan dapat dipakai selama hidup. Walaupun demikian, perubahan-perubahan suhu, benturan, dan penanganan yang tidak semestinya dapat menyebabkan instrumen menjadi tidak teratur; oleh karena itu, harus diuji secara berkala dan diatur bila perlu, untuk menjaga ketelitiannya. Sebuah alat sipat datar, misalnya, harus dicek setiap hari bila dipakai pada pekerjaan penting.

Prosedur-prosedur lapangan yang benar, misalnya pemusatan ganda dan menyamakan bidikan depan dan belakang, memungkinkan pekerjaan teliti dapat dilaksanakan walaupun instrumen tidak teratur. Tetapi seringkali dengan beberapa menit mengatur alat, dapat menghemat waktu dan tenaga dalam memakai peralatan agar berdaya-guna. Lebih lanjut, ada beberapa jenis galat yang hanya dapat dihilangkan dengan mengatur instrumen.

Juru-ukur dan insinyur dapat melaksanakan pengujian untuk menentukan apakah suatu alat ukur perlu diatur; dan mereka seharusnya mampu melaksanakan pengaturan rutin terhadap alat sipat datar semua tetap, alat sipat datar dengan pengungkit, dan transit. Paragraf-paragraf dalam apendiks ini membicarakan teknik-teknik yang baku. Alat-alat sipat datar Y lama, tidak dibuat lagi, namun demikian mungkin masih dipakai dan memerlukan pengujian dan pengaturan. Prosedur-prosedur untuk ini dijelaskan dalam edisi ke-6 buku ini.

Kecuali untuk tabung nivo kotak, pemusat optis, dan beberapa gelembung nivo piringan instrumen, pengaturan alat sipat datar dan teodolit otomatik harus diserahkan kepada



Gambar A-1. Prinsip reversi.

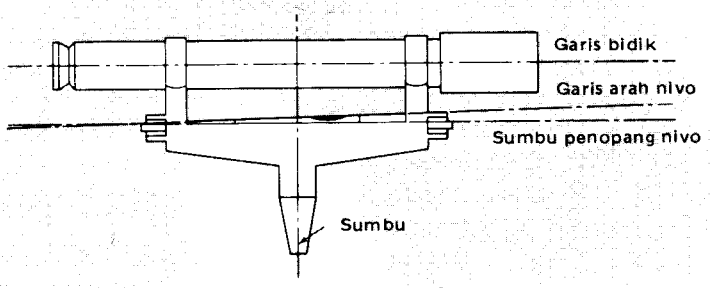
ahlinya. Pembongkaran instrumen jenis ini dapat berakibat kerusakan yang serius. Jika pengujian yang dibicarakan dalam paragraf-paragraf berikut ini mengungkapkan perlunya pengaturan, maka peralatan itu harus dikemas dengan cermat dan dikirimkan ke pabriknya atau ke laboratorium yang menyediakan tenaga ahlinya.

A-2. CARA-CARA PENGUJIAN INSTRUMEN. Kebanyakan pengujian untuk mengecek instrumen ukur tanah termasuk satu dari dua kategori berikut ini:

1. *Perbandingan dengan nilai-nilai yang diketahui.* Metode ini adalah membuat perbandingan langsung antara alat-alat ukur dengan sebuah patokan yang telah ditera dengan saksama. Ini dipakai dalam pengujian dan peneraan pita, EDMI dan rambu sipat datar.
2. *Prinsip reversi.* Prosedur ini adalah penempatan instrumen dari kedudukan biasa ke kedudukan luar biasa agar galat menjadi rangkap dan membuatnya lebih jelas. Ini dipakai secara luas untuk menguji alat sipat datar, transit dan teodolit. Untuk menggambarkan, anggaplah dalam Gambar A-1 galat sudut antara garis yang benar dengan yang belum teratur ϵ disebabkan karena beda panjang a dan b seperti pada kedudukan (1). (Contohnya adalah ketinggian kedua ujung tabung nivo pada sebuah teropong). Setelah teropong diputar 180° horisontal, garis yang belum teratur menempati kedudukan (2) karena a dan b telah bertukar tempat. Karena sudut antara kedudukan (1) dan (2) adalah 2ϵ, berarti dengan sekali pembalikan (reversi) menduakalikan galat. Metode-metode khusus untuk menguji dengan reversi pada alat sipat datar, transit dan teodolit dibicarakan dalam apendiks ini.

A-3. PERSYARATAN UNTUK PENGUJIAN DAN PENGATURAN ALAT SIPAT DATAR, TRANSIT DAN TEODOLIT. Sebelum melaksanakan pengaturan, sebaiknya dilakukan beberapa pengujian dengan *cermat* untuk memperoleh keyakinan bahwa apa yang nampak belum teratur benar-benar disebabkan oleh karena keadaan instrumen, bukan karena kurang cermatnya pengujian. Untuk mengatur dengan baik dan mengecek baik alat sipat datar, transit, maupun teodolit di lapangan, harus diikuti beberapa ketentuan sebagai berikut:

1. Pilihlah tanah yang memungkinkan pemasangan instrumen dengan teguh di lapangan yang hampir datar agar dapat dibidik jarak-jarak paling sedikit 200 ft pada arah berlawanan. Tiga titik permanen dipasang kira-kira terpisah 200 ft pada garis lurus, di tanah hampir datar, dan lebih baik dengan elevasi sama untuk mempercepat pengaturan. Instansi yang memiliki sejumlah instrumen untuk dipakai, dan para juru-ukur yang bekerja di suatu wilayah untuk jangka waktu lama, merasakan manfaat pemasangan tanda-tanda permanen demikian tadi.



Gambar A-2. Alat sipat datar semua-tetap.

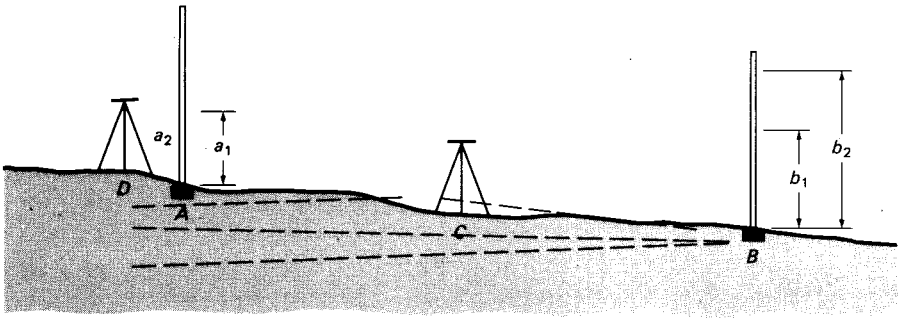
2. Laksanakan pengaturan bila keadaan cuaca baik, lebih disukai di hari mendung yang bebas dari gelombang panas. Jangan membuat garis bidik melewati sinar matahari kemudian melewati tempat teduh, atau membuat garis bidik terarah ke matahari.
3. Tempatkan pemasangan instrumen di tempat teduh, atau lindungilah dari ssinar matahari langsung.
4. Pastikanlah bahwa alas kaki tiga kokoh dan instrumen disekrupkan padanya dengan teguh. Rentangkan kaki-kakinya cukup terpisah dan pasanglah ketiganya sehingga bidang atas nampak datar. Tancapkan alas kaki dengan mantap ke tanah. Kalau digunakan kaki tiga konvensional buatan lama, kendorkan dulu ketiga sekrup engselnya untuk melepaskan tegangan dan kemudian diketatkan lagi.

Metode-metode baku dan urutan yang telah ditentukan harus diikuti dalam mengatur alat sipat datar, transit, dan teodolit. Kedudukan yang benar daripada bagian-bagiannya dicapai dengan mengendorkan dan mengetatkan mur dan sekrup pengatur tertentu, memakai jarum-jarum khusus. Menyempurnakan tiap pengaturan pada percobaan pertama adalah membuang waktu karena beberapa pengaturan berpengaruh pada yang lain. Serangkaian pengujian lengkap mungkin harus diulang beberapa kali bila instrumen menyimpang jauh. Pengecekan akhir seluruh pengaturan harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa tak satupun terganggu. Pengaturan yang paling sederhana yaitu menghilangkan paralaks dengan jalan memumpun lensa obyektif dan okuler dengan cermat, harus selalu diingat setiap waktu.

Jarum pengatur (pen koreksi) yang dipakai harus lurus dan kuat, serta tepat dengan lubang sekrup koreksi, sedangkan sekrup koreksinya harus diperlakukan dengan hati-hati agar tidak tidak merusak logamnya yang lunak. Sekrup-sekrup untuk mengatur telah dipasang dengan baik sewaktu instrumen dikirim dari pabriknya. Memutar sekrup terlalu banyak (atau tidak cukup), berarti mengabaikan prosedur pengaturan yang benar dan dapat menyebabkan instrumen menjadi lebih buruk keadaannya daripada sebelum diatur.

A-4. MENGATUR ALAT SIPAT DATAR SEMUA-TETAP. Sebuah alat sipat datar teratur membentuk bidang bidik horisontal bila teropong diputar mengelilingi sumbu I. Garis-garis pokok pada alat sipat datar, seperti dijelaskan pada Gambar A-2, adalah (1) garis bidik, (2) garis arah nivo, (3) sumbu penopang nivo, (4) sumbu I.

Untuk pengaturan sempurna, garis bidik, garis arah nivo, dan sumbu penopang nivo sejajar satu sama lain dan tegaklurus sumbu I. Ada dua bagian yang dapat diatur: benang silang dan tabung nivo.



Gambar A-3. Pengaturan pancang.

A-4.1. MENGATUR TABUNG NIVO

Tujuan. Membuat garis arah nivo tegaklurus sumbu I.

Pengujian. Pasanglah alat sipat datar, seimbangkan gelembung dan putarlah teropong 180° keliling sumbu I. Penyimpangan gelembung dari kedudukan seimbang adalah dua kali besarnya galat.

Pembetulan. Putarlah sekrup koreksi nivo pada ujung tabung nivo untuk menggerakkan gelembung sejauh setengah penyimpangan, ke arah kedudukan seimbang. Kemudian imbangkan gelembung nivo sekarang dengan sekrup-sekrup penyetel. Ulangi pengujian sampai gelembung tetap seimbang selama perputaran penuh dari teropong.

A-4.2. PENGATURAN AWAL BENANG SILANG HORISONTAL.

Tujuan. Untuk membuat benang silang horisontal benar-benar horisontal bila instrumen didatarkan.

Pengujian. Bidiklah sebuah titik yang jelas dan tajam dengan satu ujung benang silang horisontal. Putarlah teropong perlahan-lahan mengelilingi sumbu I sehingga benang silang bergerak melintasi titiknya. Jika benang silang tidak selalu tetap melewati titiknya sepanjang gerakan, maka instrumen perlu diatur.

Pembetulan. Kendorkan keempat sekrup koreksi diafragma yang menahan bidang benang silang. Putarlah bidang benang silang dalam tabung teropong sehingga benang silang horisontal tetap pada titiknya sewaktu teropong diputar. Sekrup-sekrup harus diketatkan dengan hati-hati pada kedudukan akhirnya.

A-4.3. PENGATURAN GARIS BIDIK

Tujuan. Untuk membuat garis bidik tegaklurus sumbu I dan sejajar dengan garis arah nivo. Pengaturan ini juga disebut *metode dua pancang* (two-peg method) dan disebut juga *pengaturan langsung.*

Pengujian. Datarkan instrumen di titik C tengah-tengah antara dua pancang A dan B kira-kira terpisah 200 ft. Lihat Gambar A-3. Tentukan selisih pembacaan rambu a_1 dan b_1 berturut-turut di A dan B. Karena jarak ke kedua titik itu sama, maka diperoleh selisih elevasi yang benar walaupun garis bidik tidak tepat horisontal.

Kemudian pasanglah instrumen di D segaris dengan kedua pancang dan dekat dengan

salah satu dari padanya – A dalam hal ini – dan seimbangkan nivo. Dengan okuler hanya beberapa in dari rambu, pembacaan a_2 pada A diperoleh dengan bidikan melalui ujung lensa obyektif teropong. Biasanya dipakai sebuah pensil untuk menepatkan bidikan karena bidang pemandangannya sempit. Juga diambil b_2 pembacaan pada B.

Jika garis bidik sejajar garis arah nivo (yaitu horisontal) maka pembacaan rambu b_2 seharusnya sama dengan pembacaan rambu di A ditambah selisih elevasi antara A dan B, atau $(b_1 - a_1) + a_2$. Bila ada perbedaan antara pembacaan terlihat dan pembacaan seharusnya, maka itulah galat yang akan dikoreksi dengan pengaturan.

Pembetulan. Kendorkan sekrup koreksi diafragma yang ada di atas (atau di bawah), dan putarlah maju sekrup bawah (atau sekrup atas) untuk mendorong benang silang horisontal ke atas atau ke bawah sehingga diperoleh pembacaan di B sebesar yang diperlukan. Dengan beberapa kali percobaan mungkin telah cukup untuk memperoleh penempatan yang tepat. (*Awas:* Satu sekrup harus dikendorkan sebelum yang lain diputar maju pada instrumen buatan lama agar tak mematahkan benang silang!)

Metode lain untuk mengatur adalah dengan melaksanakan sipat datar timbal-balik. Pemasangan alat dekat A membaca ke A dan B. Alat sipat datar dipindahkan ke kedudukan dekat B dan diambil bidikan-bidikan serupa. Selisih elevasi dihitung dan bidang benang silang digeser untuk memperoleh pembacaan pada rambu jauh sama dengan pembacaan pada rambu dekat ditambah selisih elevasi titik-titiknya.

Jika selisih elevasi antara A dan B diketahui, hanya diperlukan satu pemasangan instrumen dekat salah satu titik untuk pengaturan itu.

A-5. MENGATUR ALAT SIPAT DATAR DENGAN PENGUNGKIT. Seperti dijelaskan dalam Paragraf 6-13, sumbu I alat sipat datar jenis semua-tetap dengan pengungkit, diorientasikan mendekati vertikal memakai gelembung nivo kotak, dan garis bidik dibuat horisontal untuk bidikan rambu depan dan belakang masing-masing dengan jalan hati-hati menyeimbangkan gelembung peka nivo utama. Pada alat sipat datar dengan-pengungkit yang sudah teratur, garis arah nivo kotak harus mendekati tegaklurus sumbu I, dan garis bidik harus sejajar garis arah nivo peka.

A-5.1. MENGATUR GELEMBUNG NIVO KOTAK

Tujuan. Untuk membuat garis arah gelembung nivo kotak tegaklurus sumbu I.

Pengujian dan Pembetulan. Seperti yang dijelaskan pada Paragraf A-8. Tetapi pengaturan yang saksama tidak amat diperlukan karena teropong didatarkan dengan lebih teliti memakai gelembung nivo yang peka.

A-5.2. MENGATUR BENANG SILANG HORISONTAL

Tujuan, Pengujian dan Pembetulan. Sama dengan pengaturan kedua untuk alat sipat datar jenis semua tetap (lihat Paragraf A-4.2).

A-5.3. MENGATUR GELEMBUNG NIVO PEKA.

Tujuan. Untuk membuat garis arah nivo peka sejajar dengan garis bidik.

Pengujian. Laksanakan pengujian pancang seperti dijelaskan dalam Paragraf A-4.3. Teropong dibawa ke pembacaan rambu sebesar harga yang diperlukan untuk bidikan horisontal, memakai sekrup pengungkit. Keadaan tak teratur bila didapati dalam kedudukan ini gelembung menyimpang dari seimbang.

Pembetulan. Dengan garis bidik horisontal, sekrup koreksi nivo diputar naik atau turun seperlunya untuk menyeimbangkan gelembung, atau untuk membuat ujung gelembung berimpit pada jenis nivo ujung berimpit.

A-6. PENGATURAN TRANSIT.[1] Transit itu dirancang untuk mengukur proyeksi-proyeksi sudut vertikal dan horisontal serta bertindak sebagai alat sipat datar, sehingga garis-garis dan sumbu-sumbu tertentu harus diatur letaknya dengan saksama. Garis-garis utama pada transit, dijelaskan sebelumnya pada Gambar 11-15, adalah:

1. Garis arah nivo-nivo lingkaran. Garis singgung pada titik tengah busur lingkar atas tabung nivo.
2. Sumbu I. Sama dengan pada alat sipat datar.
3. Sumbu II. Garis melalui pusat putaran sumbu teropong dan pelurunya dalam penopang.
4. Garis bidik. Sama dengan pada alat sipat datar.
5. Garis arah nivo teropong. Sama dengan pada alat sipat datar.

Untuk pengaturan yang benar, (1) garis arah nivo lingkaran harus tegaklurus sumbu I, (2) sumbu II sejajar garis arah nivo lingkaran, (3) garis bidik tegaklurus sumbu I, dan (4) garis arah nivo teropong sejajar dengan garis bidik. Untuk mencapai hubungan-hubungan ini, nivo piringan, benang silang, penopang-penopang, nivo teropong dan nonius lingkaran vertikal dapat diatur.

A-6.1. MENGATUR NIVO PIRINGAN (NIVO LINGKARAN)

Tujuan. Untuk membuat garis arah tiap nivo piringan tegaklurus sumbu I.

Pengujian. Pasanglah instrumen, tempatkan sebuah nivo piringan di atas dua sekrup penyetel yang berhadapan, dan seimbangkan dengan keduanya. Putarlah instrumen 180° keliling sumbu I agar nivo tadi bertukar ujung tetapi di atas kedua sekrup lagi. Panjang simpangan dari kedudukan seimbang adalah dua kali galatnya.

Pembetulan. Putarlah sekrup koreksi nivo di satu ujung tabung nivo untuk menggerakkan gelembung *setengah* panjang simpangan ke arah kedudukan seimbang. Sekarang imbangkan nivo dengan gerakan gelembung setengah simpangan, memakai kedua sekrup penyetel. Ulangilah pengujian hingga gelembung tetap seimbang selama putaran penuh instrumen.

Aturlah nivo lainnya dengan cara yang sama.

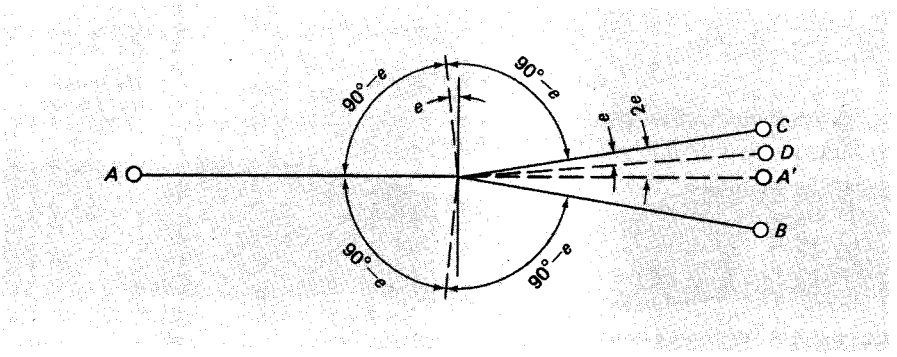
A-6.2. PENGATURAN AWAL BENANG SILANG VERTIKAL

Tujuan. Untuk menempatkan benang silang vertikal pada bidang tegaklurus sumbu II instrumen.

Pengujian. Bidiklah titik yang tajam dengan satu ujung benang silang vertikal. Putarlah teropong mengelilingi sumbu II sehingga benang silang bergerak sepanjang titik. Jika titik menyimpang dari benang, benang silang tidak tegaklurus sumbu II.

---

[1] Pengujian-pengujian (percobaan-percobaan) yang dijelaskan dalam paragraf ini juga dapat dipakai untuk mengecek teodolit; tetapi seperti dijelaskan sebelumnya, pada umumnya pengaturan lebih baik diserahkan kepada ahlinya.



Gambar A-4. Timbal-balik rangkap.

Pembetulan. Kendorkan keempat sekrup diafragma, dan putarlah diafragma sedikit hingga benang vertikal tetap ada di titik tertentu tadi selama putaran teropong. Ketatkan sekrup diafragma dan periksa kembali pengaturan.

A-6.3. PENGATURAN BENANG SILANG VERTIKAL

Tujuan. Untuk membuat agar garis bidik tegaklurus sumbu II.

Pengujian. Pengujian ini menerapkan prosedur pusat-rangkap untuk memperpanjang sebuah garis lurus. Datarkan transit dan bidiklah dengan cermat titik belakang yang jauh dan tajam *A*, seperti pada Gambar A-4, dengan mengunci piringan-piringan. Luarbiasakan teropong dan tetapkan bidikan depan titik *B* yang kira-kira sama elevasinya dengan *A*, dan bila mungkin paling sedikit sejauh 400 ft. Dengan teropong masih luar biasa kedudukannya, bukalah pengunci salah satu piringan, putarlah teropong pada sumbu I, ambillah bidikan belakang pada titik pertama *A* lagi, dan kuncikan piringan. Kembalikan teropong ke kedudukan biasa dan tetapkan titik *C* di samping titik bidikan depan pertama *B*. Jarak antara *B* dan *C* adalah *empat kali* galat pengaturan karena adanya timbal-balik rangkap.

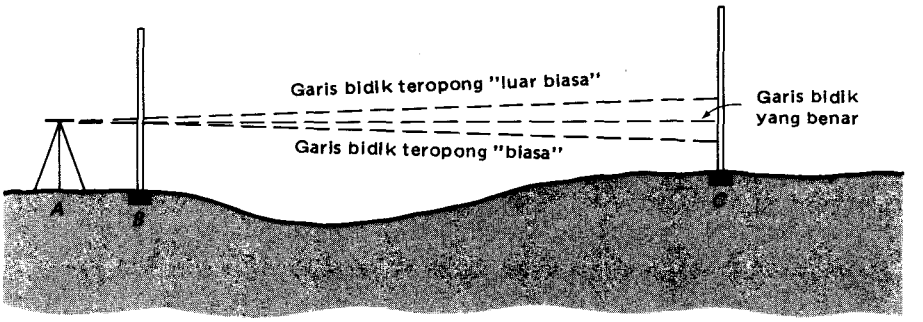
Pembetulan. Kendorkan sebuah sekrup penahan samping diafragma pada tabung teropong dan putarlah sekrup di depannya untuk menggerakkan benang silang vertikal sebesar *seperempat* jarak *CB* ke titik *D*. Ulangi pengujian hingga teropong membidik titik *A'* yang sama setelah dari bidikan belakang *A* diputar.

A-6.4. PENGATURAN BENANG SILANG HORISONTAL

Tujuan. Untuk membuat benang silang horisontal berpotongan dengan sumbu optis teropong. Ini perlu bila transit akan dipakai untuk sipat datar atau mengukur sudut vertikal.

Pengujian. Pasanglah dan datarkan transit di titik *A*, seperti pada Gambar A-5. Aturlah dua patok *B* dan *C* segaris dengan *A* dengan elevasi yang kira-kira sama. Patok *B* harus pada jarak pumpunan minimum dari *A*, mungkin 5 atau 10 ft, dan patok *C* paling sedikit berjarak 300 ft.

Pertama bacalah rambu di *B* dengan benang silang horisontal, kemudian pada rambu di *C*. Ubahlah teropong menjadi luar biasa dan bidiklah *B* lagi, menempatkan benang silang horisontal pada pembacaan pertama rambu. Kemudian sumbu I dan II dikunci, bacalah rambu pada *C*. Selisih kedua pembacaan di *C* adalah kira-kira dua kali galatnya.



Gambar A-5. Pengaturan benang silang horisontal.

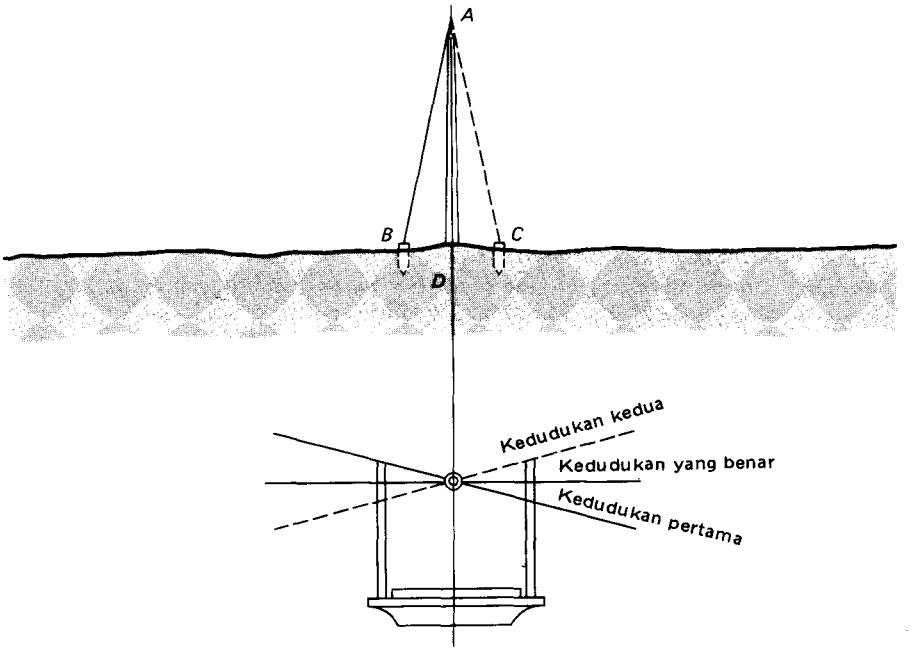
Pembetulan. Dengan memutar sekrup koreksi diafragma atas dan bawah, benang horisontal digerakkan hingga pembacaan tepat di tengah antara kedua pembacaan di *C* tadi. Ulangilah pengujian dan pembetulan hingga benang horisontal memberikan pembacaan yang tak berubah pada bidikan titik jauh dengan kedudukan biasa dan luar biasa.

A-6.5. MENGATUR PENOPANG-PENOPANG

Tujuan. Untuk membuat sumbu II tegaklurus sumbu I.

Pengujian. Transit didatarkan dengan cermat hingga sumbu II horisontal kedudukannya. Bidiklah titik yang tajam *A* yang tinggi letaknya, seperti dalam Gambar A-6, paling sedikit dengan sudut bertikal 30°, dan kuncikan piringan-piringan. Putarlah teropong hingga mengarah ke bawah pada titik di dekat tanah, ditandai dengan titik *B*. Ubahlah teropong menjadi luar biasa dan bidiklah lagi titik *A*, kuncilah piringan-piringan. Sekarang putar lagi

Gambar A-6. Pengaturan penopang-penopang.



teropong mengarah ke bawah, tandailah titik *C* dekat *B*. Bila *B* tidak berimpit *C* maka ada kemiringan sumbu II dan jarak *BC* kira-kira *dua kali* galatnya.

Pembetulan. Tentukan sebuah titik *D* kira-kira *di tengah-tengah* antara *B* dan *C* dan bidiklah titik itu. Dengan piringan-piringan terkunci, teropong dibidikkan ke titik *A* dengan menaikkan atau menurunkan ganjal yang dapat digerakkan, pada sebuah penopang. Untuk menaikkan sumbu II, mula-mula kendorkan sekrup-sekrup-geser penahan tutup sumbu dua pada penopang, kemudian ketatkan sekrup koreksi di bawah pengganjal. Untuk menurunkan sumbu II, kerjakan sebaliknya. Sekrup-sekrup-geser penahan tutup sumbu II harus dipasang dengan cermat agar teropong tidak terlalu longgar atau terlalu seret putarannya.

Ulangilah pengujian dan pembetulan hingga titik tinggi maupun rendah tetap di garis bidik pada kedudukan teropong biasa maupun luar biasa.

A-6.6. PENGATURAN TABUNG NIVO-TEROPONG

Tujuan. Untuk membuat garis arah nivo tegaklurus sumbu I dan sejajar dengan garis bidik teropong.

Pengujian. Sama dengan pengujian untuk pengaturan pancang alat sipat datar semua tetap (lihat Paragraf A-4.3).

Pembetulan. Jika pembacaan rambu b_2, seperti pada Gambar A-3, menunjukkan perlunya pengaturan, pembacaan rambu yang benar dan diperlukan untuk menghasilkan garis bidik horisontal ditetapkan pada rambu dengan sekrup penggerak halus lingkaran vertikal. Gelembung nivo teropong kemudian diseimbangkan dengan memutar sekrup koreksi nivo pada satu ujung tabung nivo.

A-6.7. PENGATURAN NONIUS LINGKARAN-VERTIKAL

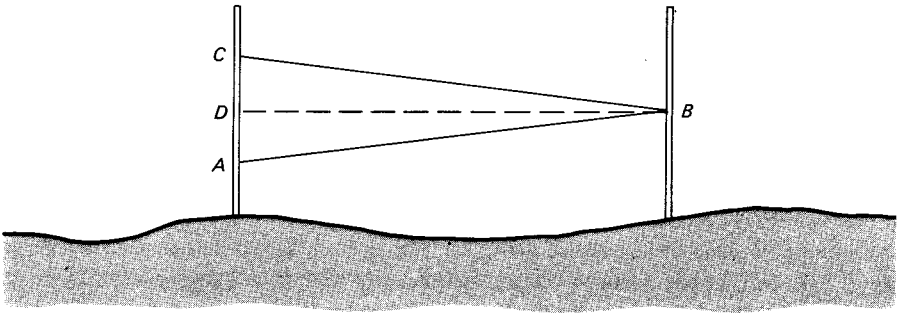
Tujuan. Untuk membuat nonius lingkaran vertikal terbaca nol bila nivo teropong seimbang, sehingga tidak ada galat indeks.

Pengujian. Datarkan instrumen dengan kedua nivo piringan. Seimbangkan nivo teropong memakai sekrup penggerak halus lingkaran vertikal. Bila pada nonius lingkaran vertikal terbaca suatu harga, itulah galat indeksnya.

Pembetulan. Kendorkan sekrup koreksi yang menahan piringan nonius dan gerakkan sehingga tanda nol lingkaran berimpit dengan tanda nol nonius. Kuncikan sekrup koreksi. Jangan sampai ada celah antara nonius dengan lingkaran vertikal, karena akan menyebabkan galat dalam membaca sudut.

A-7. PENGATURAN PEMUSAT OPTIS. Garis bidik pemusat optis harus berimpit dengan sumbu I instrumen. Untuk mengaturnya, pasanglah transit atau teodolit pada titik yang jelas dan bidikkan dengan tepat pemusat optis ke titik itu dengan memutar sekrup-sekrup penyetel. Putarlah instrumen horisontal 180°. Bila titik-bidik pemusat optis berpindah dari titiknya, kembalikan mendekati titik *setengah* penyimpangan dengan sekrup pengatur yang ada. Sekarang tepatkan dengan menggerakkan sejauh setengah penyimpangan titik bidik, memakai sekrup-sekrup penyetel, dan ulangilah pengujian.

A-8. PENGATURAN NIVO KOTAK. Jika gelembung nivo kotak tidak tetap seimbang sewaktu instrumen diputar horisontal, diperlukan pengaturan namun tidak perlu sangat sak-



Gambar A-7. Pengaturan alat sipat datar tangan.

sama karena nivo itu tidak menentukan secara halus datarnya garis bidik. Seimbangkan dengan hati-hati gelembung nivo kotak memakai sekrup-sekrup penyetel dan putarlah 180° instrumen itu horisontal. *Setengah* penyimpangan gelembung dihilangkan dengan memutar sekrup koreksi tabung nivo, dan setengahnya lagi dihilangkan hingga gelembung seimbang memakai putaran sekrup-sekrup penyetel. Pengujian diulangi hingga baik.

A-9. PENGATURAN ALAT SIPAT DATAR TANGAN. Bagian yang dapat diatur pada alat sipat datar tangan Locke hanyalah benang silang horisontal.

Tujuan. Untuk membuat garis bidik menjadi horisontal bila gelembung seimbang.

Pengujian. Alat sipat datar tangan ditopang kokoh pada elevasi *A*, gelembung diseimbangkan, membidik sebuah tiang atau pojok gedung pada titik yang diberi tanda *B* seperti pada Gambar A-7. Jarak *AB* sebaiknya tak lebih dari 100 ft. Topanglah alat sipat datar tangan itu di *B*, seimbangkan gelembungnya, dan perhatikan apakah garis bidik jatuh di *A*. Bila tidak, maka titik itu diberi tanda *C*.

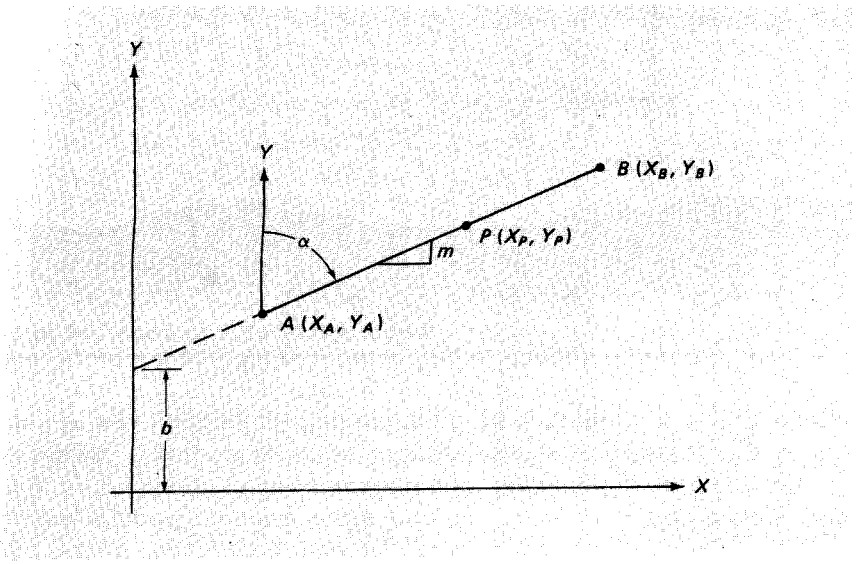
Pembetulan. Bagilah jarak *AC* menjadi dua sama besar dan titik tengah itu disebut *D*. Alat masih di *B* dan gelembung seimbang, benang silang ditepatkan di *D* dengan sekrup koreksi.

APENDIKS B GEOMETRI KOORDINAT DALAM HITUNGAN PENGUKURAN TANAH

B-1. PENGANTAR. Kecuali untuk pengukuran titik kontrol geodetik yang luas, hampir seluruh pengukuran lainnya didasarkan pada sistem koordinat-tegaklurus bidang datar. Koordinat bidang negara bagian (lihat Bab 21) adalah paling sering dipakai, walaupun sistem sementara lokal dapat dipakai. Keuntungan mendasarkan titik-titik pada sistem koordinat tegaklurus adalah (1) kedudukan nisbi itik-titik dinyatakan secara unik, (2) titik-titik itu mudah digambar, (3) jika hilang di lapangan dengan mudah dapat ditemukan kembali dari titik-titik lain yang ada, berdasarkan sistem yang sama, dan (4) hitungan-hitungan amat dipermudah. Keuntungan yang akhir tadi adalah pokok pembicaraan apendiks ini.

Hitungan-hitungan yang menyangkut koordinat dilaksanakan dalam berbagai masalah pengukuran. Dua keadaan ditampilkan dalam Bab 13, di mana diperlihatkan bahwa panjang dan sudut arah (atau azimut) sebuah garis dapat dihitung dari koordinat titik-titik ujungnya. Hitungan luas memakai koordinat dibicarakan dalam Bab 15. Masalah-masalah tambahan yang mudah diselesaikan memakai koordinat adalah menentukan titik potong (a) dua garis lurus, (b) garis lurus dan lingkaran, dan (c) dua lingkaran. Masalah-masalah ini sering dijumpai dalam pengukuran jalur lintas di mana diperlukan menghitung perpotongan garis singgung dan lengkungan melingkar dalam pelurusan horisontal, dan dalam pekerjaan batas dan pengkaplingan di mana petak-petak tanah sering dinyatakan dengan garis-garis lurus dan busur-busur lingkaran.

Penyelesaian masalah-masalah ini dapat diperoleh dengan menuliskan persaman-persamaan untuk garis dan lingkaran yang bersangkutan, yang termasuk koordinat titik potong



Gambar B-1. Geometri garis lurus dalam sistem koordinat bidang datar.

yang belum diketahui, kemudian memecahkannya dengan serentak untuk yang belum diketahui. Persamaan-persamaan yang diperlukan, bersama contoh soal-soal, disajikan dalam paragraf-paragraf berikut ini.

B-2. BENTUK PERSAMAAN KOORDINAT UNTUK GARIS. Pada Gambar B-1, garis lurus AB dinyatakan dalam sistem koordinat tegaklurus bidang datar. Koordinat titik ujung A dan B adalah X_A, Y_A, X_B dan Y_B. Panjang AB dan azimut α garis ini dinyatakan dengan koordinat adalah

$$AB = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \tag{B-1}$$

$$\alpha = \text{busur tg} \left(\frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \right) \tag{B-2}$$

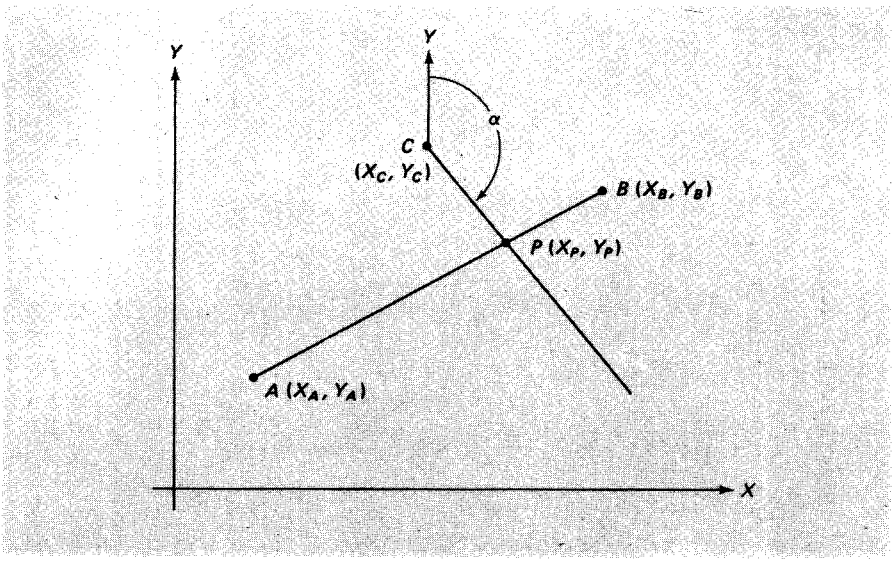
Bentuk matematis umum sebuah garis lurus adalah:

$$Y_p = mX_p + b \tag{B-3}$$

di mana Y_p adalah koordinat Y sembarang titik P pada garis yang koordinat X-nya adalah X_p, m adalah kemiringan garis, dan b adalah potongan Y terhadap garis. Kemiringan m dapat dinyatakan sebagai:

$$m = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \text{cotg } \alpha \tag{B-4}$$

Untuk sembarang garis lurus, kemiringannya tetap; yaitu, pada Gambar B-1, kemiringan antara A dan B sama dengan kemiringan antara A dan P. Jadi persamaan berikut dapat ditulis berdasarkan gerak hati (intuisi) dari Pers. (B-4):



Gambar B-2. Perpotongan dua garis.

$$\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{Y_P - Y_A}{X_P - X_A} = \text{cotg } \alpha \qquad \text{(B-5)}$$

B-3. PERPOTONGAN DUA GARIS. Persamaan (B-5) sangat berguna dalam menghitung titik potong dua garis. Data yang biasanya diketahui untuk soal jenis ini adalah koordinat-koordinat titik ujung garis-garis, atau azimut tetap garis yang ditentukan dari pengukuran atau data rancangan.

CONTOH B-1

Pada Gambar B-2, keterangan berikut dianggap diketahui untuk dua garis, hitunglah koordinat X_p dan Y_P titik potong.

$$X_A = 1425{,}07 \qquad X_B = 7484{,}80 \qquad X_C = 4497{,}96 \qquad \alpha = 141°30'$$
$$Y_A = 1971{,}28 \qquad Y_B = 5209{,}64 \qquad Y_C = 6062{,}00$$

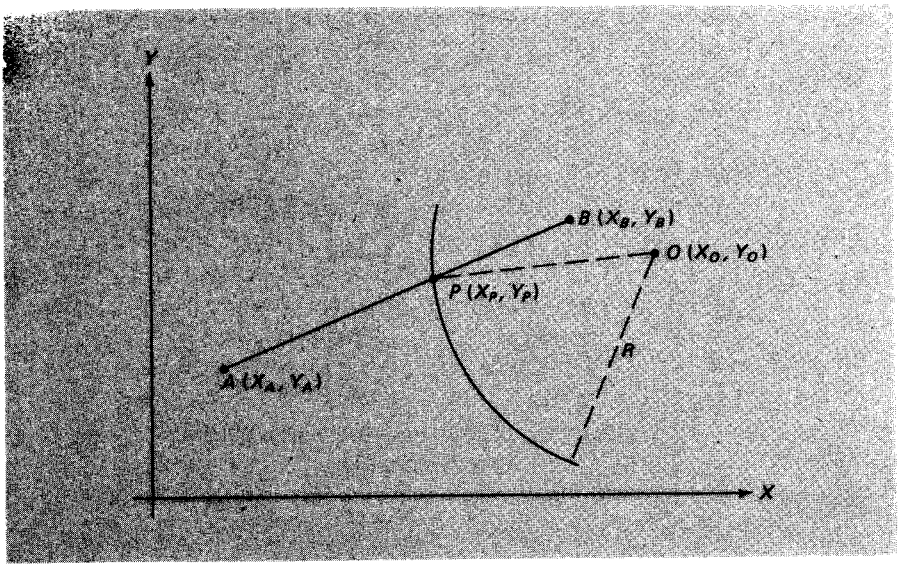
Dengan Pers. (B-5), untuk garis AB berlaku:

$$\frac{5209{,}64 - 1971{,}28}{7484{,}80 - 1425{,}07} = \frac{Y_P - 1971{,}28}{X_P - 1425{,}07} \qquad \text{(a)}$$

Juga, dengan Pers. (B-5), untuk garis di C berlaku:

$$\frac{Y_P - 6062{,}00}{X_P - 4497{,}96} = \text{cotg } 141°30' \qquad \text{(b)}$$

Penyelesaian (a) dan (b):



Gambar B-3. Perpotongan garis dan lingkaran.

$$0{,}53441X_P - Y_P = -1209{,}71 \quad \text{(c)}$$

$$1{,}25717X_P + Y_P = 11.716{,}43 \quad \text{(d)}$$

Pemecahan Pers. (c) dan (d) secara serentak menghasilkan:

$$X_P = 5864{,}50 \text{ ft}$$

$$Y_P = 4343{,}76 \text{ ft}$$

B-4. BENTUK PERSAMAAN KOORDINAT UNTUK LINGKARAN. Bentuk matematis umum untuk lingkaran dalam koordinat tegaklurus adalah:

$$R^2 = (X_P - X_O)^2 + (Y_P - Y_O)^2 \quad \text{(B-6)}$$

Dalam Pers. (B-6) dan berdasarkan Gambar B-3, R adalah jari-jari lingkaran, X_o dan Y_o koordinat titik pusat O, dan X_p, Y_p adalah koordinat sembarang titik P pada lingkaran. Untuk kebanyakan soal jari-jari dan koordinat titik pusat lingkaran diketahui, R dipilih atas dasar ketentuan rancangan, atau kendala geometrik, dan X_o, Y_o telah dihitung sebagai hasil pengukuran, atau diambil dari peta rancangan.

B-5. PERPOTONGAN GARIS DAN LINGKARAN. Gambar B-3 memperlihatkan garis AB memotong lingkaran di titik P. Koordinat titik-titik A, B dan O diketahui, begitu pula jari-jarinya. Untuk memecahkan titik potong, sebuah persamaan dalam bentuk Pers. (B-5) dapat dituliskan untuk garisnya, dan sebuah seperti Pers. (B-6) untuk lingkaran. Persamaan-persamaan ini, bila diselesaikan serentak, menghasilkan bentuk kuadratik untuk salah satu yang tak diketahui, sebagai:

$$aY_p^2 + bY_p + c = 0 \quad \text{(B-7)}$$

Penyelesaian untuk Y_p diperoleh dari:

$$Y_p = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{B-8}$$

Setelah menghitung Y_p, harganya dapat dimasukkan ke persamaan aslinya untuk memperoleh X_p.

CONTOH B-2

Pada Gambar B-3, anggaplah bahwa koordinat pusat lingkaran adalah X_o = 500,00 dan Y_o = 200,00; untuk titik-titik A dan B, X_A = 100,00, Y_A = 130,00, X_B = 300,00, dan Y_B = 200,00; dan R = 150 ft. Tentukan koordinat titik potong P.

Dari Pers. (B-5):

$$\frac{X_P - 100{,}00}{Y_P - 130{,}00} = \frac{300{,}00 - 100{,}00}{200{,}00 - 130{,}00} \tag{e}$$

dan dengan Pers. (B-6):

$$(X_P - 500{,}00)^2 + (Y_P - 200{,}00)^2 = (150{,}00)^2 \tag{f}$$

Penyederhanaan Pers. (e):

$$X_P = 2{,}8571\,Y_P - 271{,}43 \tag{g}$$

Masukkan (g) ke (f) dan disederhanakan:

$$Y_P^2 - 524{,}73\,Y_P + 66.856 = 0 \tag{h}$$

Penyelesaian Pers. (h) dengan Pers. (B-8):

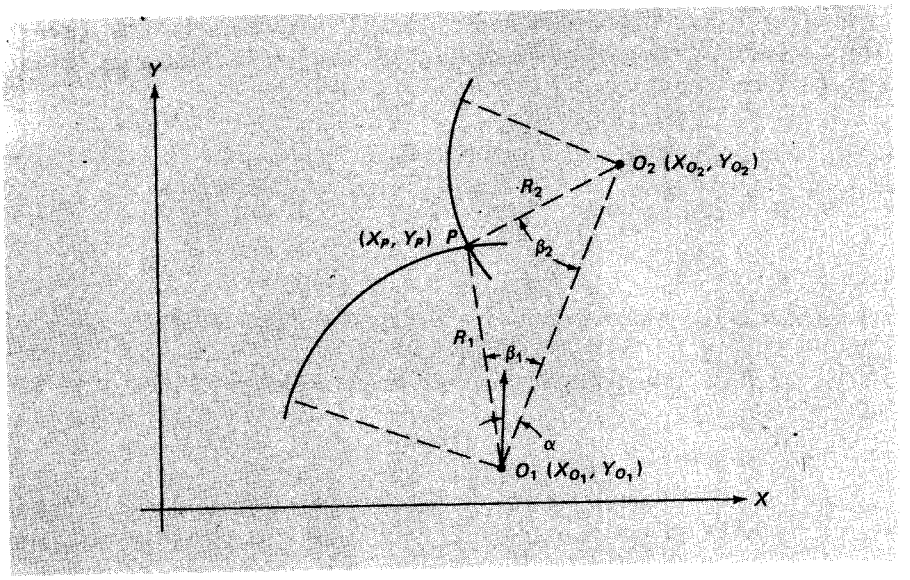
$$Y_P = \frac{524{,}73 \pm \sqrt{(524{,}73)^2 - 4(66.856)}}{2} = 217{,}87$$

Kemudian masukkan Y_p = 217,87 ke dalam Pers. (g):

$$X_P = 2{,}8571(217{,}87) - 271{,}43 = 351.05$$

Dalam menyelesaikan Pers. kuadratik (h), keputusan untuk memakai tanda plus atau minus dapat dibuat berdasarkan pengalaman atau memakai diagram skala yang juga merupakan pengecekan hitungan. Sebuah jawaban akan tidak masuk akal dan dibuang.

B-6. PERPOTONGAN DUA LINGKARAN. Kadang-kadang juru-ukur diminta untuk menghitung titik potong dua lingkaran dengan jari-jari yang diketahui, demikian pula koordinat titik-titik pusatnya. Keadaan ini terlihat pada Gambar B-4. Soalnya dapat dipecahkan dengan menuliskan persamaan-persamaan dalam bentuk Pers. (B-6), termasuk koordinat X_p, Y_p yang tak diketahui dalam kedua persamaan, dan kemudian dipecahkan serentak untuk yang tak diketahui. Tetapi yang tak diketahui keduanya akan muncul sebagai suku pangkat dua dalam persamaan; jadi pemecahannya agak sulit diperoleh.



Gambar B-4. Perpotongan dua lingkaran.

Dalam pendekatan alternatif, panjang dan azimut O_1O_2 dari Gambar B-4 dapat diperoleh dari Pers. (B-1) dan Pers. (B-2), setelah mana sudut-sudut β_1 dan β_2 dihitung dengan memakai dalil cos. Setelah β_1 dan β_2 diketahui, azimut-azimut O_1P dan O_2P dihitung, dan soalnya sekarang tinggal menyelesaikan koordinat P diketahui panjang dan arahnya dari titik O_1 atau O_2 yang diketahui.

CONTOH B-3

Pada Gambar B-4, anggaplah data berikut ini tersedia, dan X_p, Y_p dicari:

$$X_{O_1} = 2851{,}28 \qquad Y_{O_1} = 299{,}40 \qquad R_1 = 2000 \text{ ft}$$
$$X_{O_2} = 3898{,}72 \qquad Y_{O_2} = 2870{,}15 \qquad R_2 = 1500 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (B-1):

$$O_1O_2 = \sqrt{(3898{,}72 - 2851{,}28)^2 + (2870{,}15 - 299{,}40)^2} = 2775{,}95 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (B-2):

$$\alpha = \text{busur tg} \left(\frac{3898{,}72 - 2851{,}28}{2870{,}15 - 299{,}40} \right) = 22°10'05{,}5''$$

Dari rumus cos:

$$\beta_1 = \text{busur cos} \left[\frac{(2000)^2 + (2775{,}95)^2 - (1500)^2}{2(2000)(2775{,}95)} \right] = 31°36'53{,}4''$$

$$\beta_2 = \text{busur cos} \left[\frac{(1500)^2 + (2775{,}95)^2 - (2000)^2}{2(1500)(2775{,}95)} \right] = 44°20'31{,}8''$$

$$\alpha O_1P = 22°10'05{,}5'' - 31°36'53{,}4'' = -9°26'47{,}9''$$
$$= 360° - 9°26'47{,}9'' = 350°33'12{,}1''$$
$$\alpha O_2P = 22°10'05{,}5'' + 180° + 44°20'31{,}8'' = 246°30'37{,}3''$$

Dengan koordinat O_1 dan panjang serta arah O_1P diketahui, koordinat P dapat diperoleh langsung sebagai:

$$X_P = 2851{,}28 + 2000 \times \sin 350°33'12{,}1'' = 2523{,}02 \text{ ft}$$
$$Y_P = 299{,}40 + 2000 \times \cos 350°33'12{,}1'' = 2272{,}28 \text{ ft}$$

Koordinat-koordinat ini dapat dicek dengan hitungan serupa dari titik O_2 memakai panjang dan arah O_2P.

B-7. TRANSFORMASI KOORDINAT DUA-DIMENSI. Kadang-kadang perlu mengkonversi koordinat titik dari satu sistem sumbu pengukuran ke sistem yang lain. Ini terjadi misalnya jika pengukuran dilaksanakan dalam sistem koordinat sementara atau sistem koordinat lokal, dan belakangan ingin dihitung dalam sistem koordinat bidang negara bagian. Proses pembuatan konversi ini disebut *transformasi koordinat,* dan jika hanya melibatkan koordinat planimetrik (yaitu X dan Y) disebut *transformasi koordinat dua dimensi.*

Geometri transformasi koordinat dua dimensi dilukiskan dalam Gambar B-5. Dalam gambar, X - Y merupakan sistem koordinat anggapan lokal, dan E - N adalah sistem koordinat bidang negara bagian. Koordinat titik A sampai dengan D diketahui dalam sistem X - Y dan koordinat A dan B juga diketahui dalam sistem E - N. Titik-titik semacam A dan B yang kedudukannya diketahui di kedua sistem, diberi istilah "titik kontrol". Paling sedikit diperlukan dua titik kontrol agar dapat ditentukan koordinat E - N titik-titik lain misalnya C dan D.

Jika kedua sistem itu sama skalanya (kasus yang biasa dalam pengukuran tanah), hanya dua langkah yang terlibat dalam transformasi koordinat; (1) *putaran* (rotasi), dan (2) *gerak lurus* translasi. Menurut Gambar B-5, putaran terdiri atas penentuan koordinat titik-titik dalam sistem sumbu X' - Y' yang diputar (digambar dengan garis putus-putus). Sumbu X' - Y' sejajar dengan E - N, tetapi pusat sistem ini berimpit dengan pusat X - Y. Pada gambar, sudut putaran θ, antara sistem sumbu X - Y dan X' - Y' adalah:

$$\theta = \alpha - \beta \tag{B-9}$$

Dalam Pers. (B-9), α dan β dihitung dari dua pasang koordinat titik kontrol A dan B memakai Pers. (B-2) sebagai berikut:

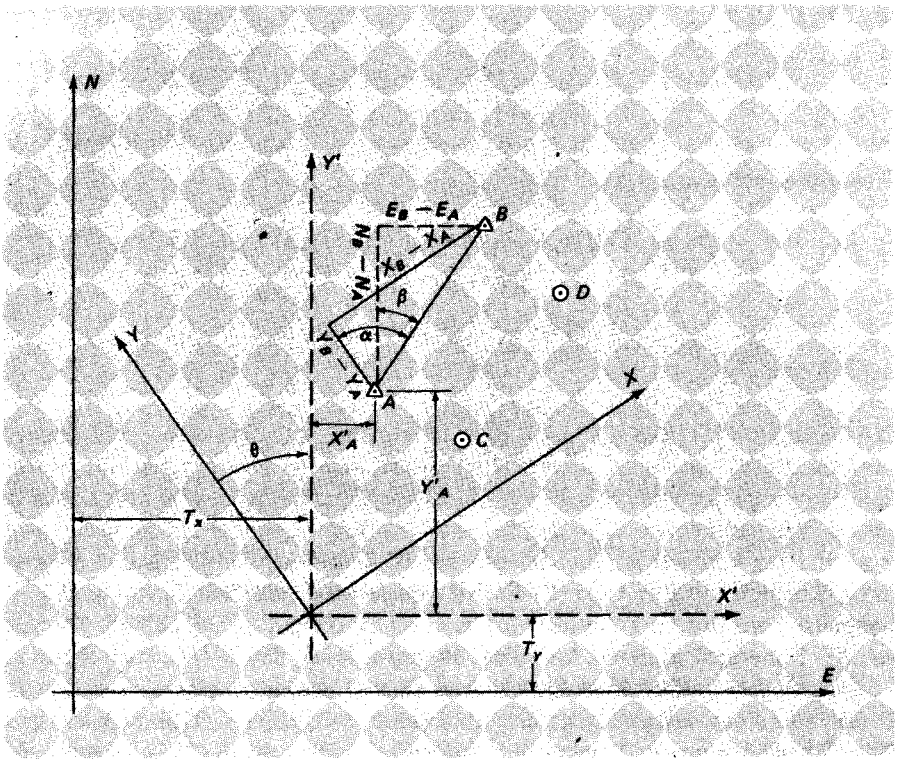
$$\alpha = \text{busur tg}\left[\frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}\right]$$

dan

$$\beta = \text{busur tg}\left[\frac{E_B - E_A}{N_B - N_A}\right]$$

Setelah θ diketahui, X' dan Y' dari sembarang titik, misalnya A, dapat dihitung dari:

$$X'_A = X_A \cos\theta - Y_A \sin\theta$$
$$Y'_A = X_A \sin\theta + Y_A \cos\theta \tag{B-10}$$



Gambar B-5. Geometri transformasi koordinat dua-dimensi.

Bagian-bagian terpisah dari rumus-rumus putaran [ruas kanan Pers. (B-10)], diperinci dalam Gambar B-6.

Geraklurus terdiri atas pergeseran pusat sumbu X' - Y' ke pusat sumbu sistem E - N. Ini dicapai dengan menambahkan faktor-faktor geraklurus T_x dan T_y (lihat Gambar B-5) pada koordinat X' dan Y' untuk memperoleh koordinat E dan N. Jadi untuk titik A:

$$\begin{aligned} E_A &= X'_A + T_x \\ N_A &= Y'_A + T_y \end{aligned} \qquad \text{(B-11)}$$

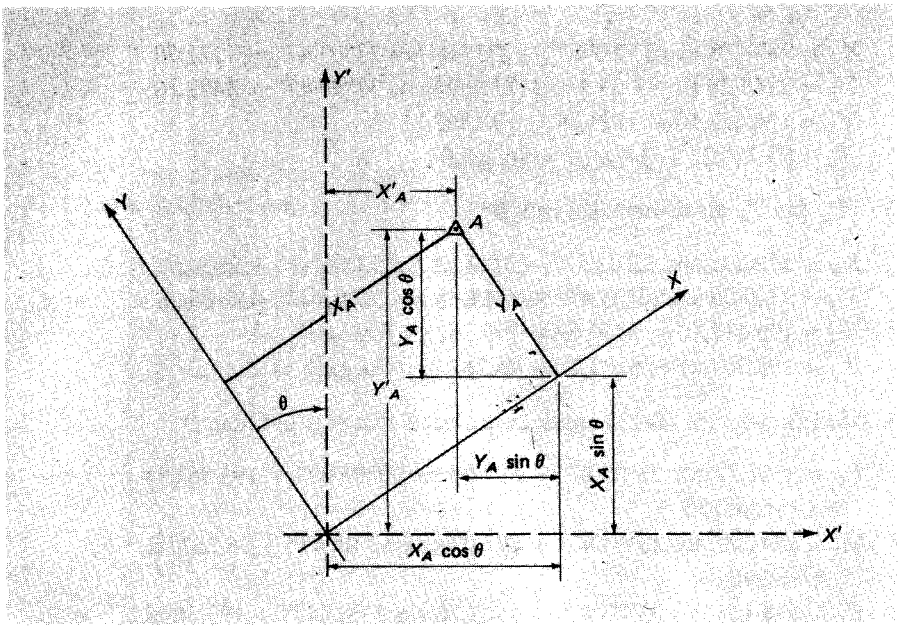
Menyusun kembali Pers. (B-11) dan memakai koordinat salah satu titik kontrol (misalnya A), harga-harga numeris T_x dan T_y dapat diperoleh sebagai:

$$\begin{aligned} T_x &= E_A - X'_A \\ T_y &= N_A - Y'_A \end{aligned} \qquad \text{(B-12)}$$

Titik kontrol yang lain (yaitu titik B) sebaiknya juga dipakai dalam Pers. (B-12) untuk menghitung T_x dan T_y sehingga didapat pengecekan hitungan.

Memasukkan Pers. (B-10) ke dalam Pers. (B-11) dan menghilangkan huruf bawah, diperoleh persamaan-persamaan sebagai berikut untuk menghitung koordinat E dan N titik-titik yang bukan titik kontrol (misalnya C dan D) dari harga-harga X dan Y-nya:

$$\begin{aligned} E &= X \cos\theta - Y \sin\theta + T_x \\ N &= X \sin\theta + Y \cos\theta + T_y \end{aligned} \qquad \text{(B-13)}$$



Gambar B-6. Perincian rumus putaran pada transformasi koordinat dua-dimensi.

Dalam ringkasan, prosedur pelaksanaan transformasi koordinat dua-dimensi terdiri atas (1) menghitung sudut putaran θ memakai dua titik kontrol dan Pers. (B-2) dan (B-9), (2) menyelesaikan Pers. (B-10) dan (B-12) memakai sebuah titik kontrol (dicek dengan yang lain) untuk mendapatkan faktor-faktor geraklurus T_x dan T_y, dan (3) memakai θ dan T_x serta T_y dalam Pers. (B-13) untuk mentransformasikan semua yang bukan titik kontrol. Jika ada lebih dari dua titik kontrol, dapat diperoleh penyelesaian yang lebih baik dengan memakai kuadrat terkecil, tetapi pembicaraan itu di luar cakupan teks ini.

CONTOH B-4

Pada Gambar B-5, koordinat E - N dan X - Y berikut ini diketahui untuk titik A sampai dengan D. Hitunglah koordinat E dan N untuk titik-titik C dan D.

TITIK	KOORDINAT BID. DATAR NEG. BAGIAN (ft) T	U	KOORDINAT SEMENTARA (ft) X	Y
A	194.683,50	99.760,22	2848,28	2319,94
B	196.412,80	102.367,61	5720,05	3561,68
C			3541,72	897,03
D			6160,31	1941,26

PENYELESAIAN

1. Tentukan α, β dan θ dari Pers.(B-2) dan (B-9):

$$\alpha = \text{busur tg}\left[\frac{5720{,}05 - 2848{,}28}{3561{,}68 - 2319{,}94}\right] = 66°36'59{,}7''$$

$$\beta = \text{busur tg}\left[\frac{196.412{,}80 - 194.683{,}50}{102.367{,}61 - 99.760{,}22}\right] = 33°33'12{,}7''$$

$$\theta = 66°36'59{,}7'' - 33°33'12{,}7'' = 33°03'47''$$

2. Tentukan T_x dan T_y dari Pers. (B-10) dan (B-12) memakai titik A:

$$X'_A = 2848{,}28 \cos 33°03'47'' - 2319{,}94 \sin 33°03'47'' = 1121{,}39$$
$$Y'_A = 2848{,}28 \sin 33°03'47'' + 2319{,}94 \cos 33°03'47'' = 3498{,}18$$
$$T_x = 194.683{,}50 - 1121{,}39 = 193{,}562{,}11$$
$$T_y = 99.760{,}22 - 3498{,}18 = 96.262{,}04$$

3. T_x dan T_y dicek memakai titik B:

$$X'_B = 5720{,}05 \cos 33°03'47'' - 3561{,}68 \sin 33°03'47'' = 2850{,}69$$
$$Y'_B = 5720{,}05 \sin 33°03'47'' + 3561{,}68 \cos 33°03'47'' = 6105{,}58$$
$$T_x = 196.412{,}80 - 2850{,}69 = 193.562{,}11 \text{ (Cocok!)}$$
$$T_y = 102.367{,}61 - 6105{,}58 = 96.262{,}03 \text{ (Cocok!)}$$

4. Selesaikan Pers. (B-13) untuk koordinat E dan N titik C dan D:

$$E_C = 3541{,}72 \cos 33°03'47'' - 897{,}03 \sin 33°03'47'' + 193.562{,}11$$
$$= 196.040{,}93$$
$$N_C = 3541{,}72 \sin 33°03'47'' + 897{,}03 \cos 33°03'47'' + 96.262{,}04$$
$$= 98{,}946{,}04$$
$$E_D = 6160{,}31 \cos 33°03'47'' - 1941{,}26 \sin 33°03'47'' + 193.562{,}11$$
$$= 197.665{,}81$$
$$N_D = 6160{,}31 \sin 33°03'47'' + 1941{,}26 \cos 33°03'47'' + 96.262{,}04$$
$$= 101.249{,}78$$

APENDIKS C PROGRAM – PROGRAM KOMPUTER

C-1. PENGANTAR. Apendiks ini berisi daftar tiga program komputer, bersama dengan contoh-contoh masukan/keluaran (input/output) menggambarkan pemakaiannya. Program-program itu ditulis dalam BASIC dan cocok dengan hampir semua sistem hitungan yang mendukung bahasa ini. Pemasukan papan tombol jari (keyboard) daripada daftar ini, bila dibuat tepat seperti yang ditunjukkan, akan memberikan hasil seperti contoh-contoh dan memecahkan masalah-masalah serupa.

Program-program itu, yang dijelaskan lebih terperinci dalam paragraf-paragraf berikutnya, melaksanakan (1) hitungan poligon, (2) azimut dari pengamatan Polaris, dan (3) azimut dari matahari. Dalam tiap program, "desakan" yang ditunjukkan dengan tanda tanya memberitahu kepada pemakai untuk memasukkan data yang diperlukan untuk penyelesaian.

Pemakaian tak terbatas atas program-program ini telah diizinkan; tetapi, penerbit dan para pengarang tidak bertanggungjawab atas masalah-masalah yang mungkin timbul sebagai akibat pemakaiannya.

C-2. PROGRAM UNTUK HITUNGAN POLIGON. Program berikut ini melaksanakan hitungan poligon untuk kedua jenis poligon tertutup – yaitu, poligon-poligon yang terikat pada titik awalnya dan poligon-poligon yang terikat pada titik lain yang diketahui kedudukannya. Seperti yang sekarang segera terlihat, poligon-poligon sampai 40 arah dapat ditangani. Hitungannya termasuk menentukan selisih-x dan selisih-y, meratakannya dengan aturan kompas dan menghitung kesalahan penutup linier dan kesaksamaan. Dari koordinat

yang diberikan pada stasiun awal, koordinat semua titik poligon ditentukan, dan jika berbentuk poligon tertutup, luasnya dihitung dengan metode koordinat.

Sebelum memakai program, stasiun-stasiun poligon harus diberi tanda pengenal dengan nomor urut mulai dengan 1. Masukan ke program terdiri atas (1) banyaknya jurusan dalam poligon; (2) pemasukan (entry) nomor 1 bila poligon tertutup, 2 bila bukan; (3) panjang (dalam feet) dan azimut (dalam derajat, menit dan sekon) masing-masing jurusan yang berturutan dimulai dengan garis 1-2; dan (4) koordinat stasiun 1 jika poligon segibanyak, atau stasiun-stasiun pertama dan terakhir bila bukan. Dalam penomoran stasiun-stasiun poligon, 1 harus diberikan kepada stasiun yang diketahui koordinatnya. Program dapat menerima panjang dalam meter; tetapi, dianggap memakai feet dan berdasarkan anggapan ini, luas dihitung dan ditulis dalam acre. Jika dipakai meter, panjang dan koordinat akan ditulis benar pada keluaran (output) dalam meter. Tetapi, luas yang tertulis harus dikalikan 4,3560 untuk mengubahnya menjadi hektar.

Berikut ini adalah daftar program dan contoh masukan/keluaran (input/output) untuk menyelesaikan Contoh 13-2 dan 14-5 pada teks. Perhatikanlah bahwa hasilnya cocok dengan yang diberikan dalam Tabel 13-3 dan 14-3.

Daftar Program

```
100 REM   TRAVERSE COMPUTATION
110 DIM DS(40),DG(40),MN(40),SC(40),RA(40),XU(41),YU(41),XB(41),YB(41),
    X(41),Y(41)
120 RD=3.14159265/180
130 PRINT "ENTER NUMBER OF COURSES IN TRAVERSE";
140 INPUT NC
150 PRINT "ENTER '1' IF POLYGON TRAVERSE, '2' IF NOT";
160 INPUT TT
170 IF TT=1 THEN 200
180 IF TT=2 THEN 200
190 GOTO 150
200 DX=0
210 DY=0
220 PE=0
230 PRINT "ENTER DISTANCE AND AZIMUTH (deg,min,sec) OF EACH COURSE"
240 FOR I=1 TO NC
250 PRINT "COURSE";I;
260 INPUT DS(I),DG(I),MN(I),SC(I)
270 PE=PE+DS(I)
280 RA(I)=RD*(DG(I)+MN(I)/60+SC(I)/3600)
290 XU(I)=DS(I)*SIN(RA(I))
300 YU(I)=DS(I)*COS(RA(I))
310 DX=DX+XU(I)
320 DY=DY+YU(I)
330 NEXT I
340 PRINT "ENTER COORDINATES (X,Y) OF STARTING STATION";
350 INPUT X(1),Y(1)
360 IF TT=1 THEN 420
370 PRINT "ENTER COORDINATES (X,Y) OF ENDING STATION";
380 INPUT X(NC+1),Y(NC+1)
390 CX=DX-(X(NC+1)-X(1))
400 CY=DY-(Y(NC+1)-Y(1))
410 GOTO 460
420 X(NC+1)=X(1)
430 Y(NC+1)=Y(1)
440 CX=DX
450 CY=DY
460 CL=SQR(CX*CX+CY*CY)
470 PC=INT(PE/CL)
480 PRINT
490 PRINT "COURSE";TAB(11);"LENGTH";TAB(26);"AZIMUTH";TAB(43);"COS";
    TAB(55);"SIN"
500 FOR I=1 TO NC
510 J=0
520 IF TT=2 THEN 550
530 IF I<>NC THEN 550
540 J=NC
550 PRINT I;"-";I+1-J;TAB(11);DS(I);TAB(23);DG(I);"-";MN(I);"-";SC(I);
    TAB(41);COS(RA(I));TAB(53);SIN(RA(I))
560 XB(I)=XU(I)-CX*DS(I)/PE
570 YB(I)=YU(I)-CY*DS(I)/PE
580 X(I+1)=X(I)+XB(I)
```

```
590 Y(I+1)=Y(I)+YB(I)
600 NEXT I
610 PRINT TAB(11);PE
620 PRINT
630 PRINT
640 PRINT TAB(6);"UNBALANCED";TAB(26);"BALANCED";TAB(50);"COORDINATES"
650 PRINT TAB(3);"LAT";TAB(14);"DEP";TAB(23);"LAT";TAB(33);"DEP";
    TAB(43);"STA";TAB(49);"NORTH";TAB(60);"EAST"
660 XX=0
670 FOR I=1 TO NC
680 XU(I)=INT(XU(I)*1000+0.5)/1000
690 YU(I)=INT(YU(I)*1000+0.5)/1000
700 XB(I)=INT(XB(I)*1000+0.5)/1000
710 YB(I)=INT(YB(I)*1000+0.5)/1000
720 X(I)=INT(X(I)*1000+0.5)/1000
730 Y(I)=INT(Y(I)*1000+0.5)/1000
740 PRINT YU(I);TAB(12);XU(I);TAB(22);YB(I);TAB(32);XB(I);TAB(43);I;
    TAB(48);Y(I);TAB(59);X(I)
750 IF TT=2 THEN 770
760 XX=XX+X(I)*Y(I+1)-Y(I)*X(I+1)
770 NEXT I
780 DX=INT(DX*1000+0.5)/1000
790 DY=INT(DY*1000+0.5)/1000
800 PRINT DY;TAB(12);DX
810 PRINT
820 PRINT
830 PRINT "LINEAR MISCLOSURE = ";INT(1000*CL)/1000;" Feet"
840 PRINT "PRECISION =  1 in ";PC
850 IF TT=2 THEN 870
860 PRINT "AREA = ";INT(10000*ABS(XX/(2*43560)))/10000;" Acres"
870 END
```

Daftar Masukan/Keluaran untuk Soal Contoh

```
ENTER NUMBER OF COURSES IN TRAVERSE? 5
ENTER '1' IF POLYGON TRAVERSE, '2' IF NOT? 1
ENTER DISTANCE AND AZIMUTH (deg,min,sec) OF EACH COURSE
COURSE 1 ? 285.10,26,10,00
COURSE 2 ? 610.45,104,35,00
COURSE 3 ? 720.48,195,30,00
COURSE 4 ? 203.00,358,18,00
COURSE 5 ? 647.02,306,54,00
ENTER COORDINATES (X,Y) OF STARTING STATION? 10000,10000

COURSE      LENGTH          AZIMUTH          COS          SIN
 1 - 2       285.1        26 - 10 - 0       .897515      .440984
 2 - 3       610.45       104 - 35 - 0     -.251788      .967783
 3 - 4       720.48       195 - 30 - 0     -.963631     -.267238
 4 - 5       203          358 - 18 - 0      .99956      -.0296663
 5 - 1       647.02       306 - 54 - 0      .60042      -.799685
             2466.05

      UNBALANCED          BALANCED                  COORDINATES
   LAT        DEP       LAT        DEP        STA    NORTH       EAST
 255.882     125.724   255.963    125.663     1     10000       10000
-153.704     590.783  -153.529    590.651     2     10255.963   10125.663
-694.276    -192.54   -694.071   -192.696     3     10102.434   10716.314
 202.911    -6.022     202.969   -6.066       4     9408.363    10523.618
 388.484    -517.412   388.669   -517.552     5     9611.331    10517.552
-.704        .533

LINEAR MISCLOSURE =  .883  Feet (Kesalahan penutup linier)
PRECISION =  1 in  2791         (Kesaksamaan)
AREA =  6.2582  Acres           (Luas)
```

C-3. AZIMUT DARI PENGAMATAN POLARIS. Program berikut ini menyelesaikan Pers. (19-1) untuk azimut Polaris (atau bintang lain) pada sembarang sudut jam. Sudut horisontal dan titik sampai bintang kemudian harus diterapkan dengan tangan untuk memperoleh azimut garisnya. Seperti sekarang diberikan, program akan menerima berapa saja banyaknya pengamatan biasa maupun luar biasa sampai sejumlah 16, dan bila lebih dari satu dimasukkan, program melaksanakan hitungan secara terpisah untuk masing-masing pengamatan dan akan memberikan azimut menengah.

Masukan terdiri atas (1) jumlah banyaknya pengamatan, biasa dan luar biasa; (2) lintang stasiun pengamatan (dalam derajat, menit, dan sekon); (3) bujur stasiun (dalam derajat, menit, dan sekon); (4) deklinasi bintang (dalam derajat, menit, dan sekon) pada saat paling mutakhir yang terdaftar dalam efemeris sebelum pengamatan pertama; (5) deklinasi bintang (dalam derajat, menit dan sekon) pada saat sedekat mungkin dengan saat yang terdaftar dalam efemeris setelah pengamatan; (6) waktu terlewat (dalam hari sampai 0,1 hari, terdekat) antara saat deklinasi masuk pertama dan saat pengamatan; (7) interval waktu (dalam hari sampai 0,1 hari, terdekat) antara saat pengamatan dan saat deklinasi masuk kedua; (8) sudut jam Greenwich (dalam derajat, menit dan sekon) bintang pada jam 0 (nol) GCT pada hari pengamatan; dan (9) Greenwich Civil Time (dalam jam, menit dan detik) dari masing-masing pengamatan.

Daftar program disajikan beserta masukan/keluaran untuk menyelesaikan Contoh 19-1 dalam teks. Dalam contoh, keempat rangkaian data dimasukkan dan azimut menengah bintang ($359°31'24{,}8''$) dihitung. Untuk memperoleh azimut garis, harga menengah dari keempat sudut horisontal ($49°38{,}8'$) dikurangkan, menghasilkan azimut garis sebesar $309°52{,}6'$. Ini cocok dengan harga yang diperoleh dalam penyelesaian contoh dalam teks, yang hanya untuk pengamatan pertama saja.

Daftar Program

```
100 REM   AZIMUTH FROM POLARIS OBSERVATIONS
110 DIM A(16)
120 PI=3.14159265
130 RO=PI/180
140 PRINT "HOW MANY OBSERVATIONS (DIRECT + REVERSE)";
150 INPUT N
160 PRINT "LATITUDE (deg,min,sec)";
170 INPUT D,M,S
180 LA=RO*(D+M/60+S/3600)
190 PRINT "LONGITUDE (deg,min,sec)";
200 INPUT D,M,S
210 LO=RO*(D+M/60+S/3600)
220 PRINT "DECL. (deg,min,sec) AT MOST RECENT TIME BEFORE OBSERVATIONS";
230 INPUT D,M,S
240 DB=RO*(D+M/60+S/3600)
250 PRINT "DECL. (deg,min,sec) AT NEAREST TIME AFTER OBSERVATIONS";
260 INPUT D,M,S
270 DA=RO*(D+M/60+S/3600)
280 PRINT "INTERVAL FROM TIME OF DECL. #1 TO TIME OF OBS. (NEAREST 0.1 DAY)";
290 INPUT TB
300 PRINT "INTERVAL FROM TIME OF OBS. TO TIME OF DECL. #2 (NEAREST 0.1 DAY)";
310 INPUT TA
320 DO=DB+(DA-DB)*(TB/(TA+TB))
330 PRINT "GHA (deg,min,sec) AT 0hrs GCT ON DAY OF OBSERVATIONS";
340 INPUT D,M,S
350 GH=RO*(D+M/60+S/3600)
360 FOR I=1 TO N
370 PRINT "GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION #";I;
380 INPUT D,M,S
390 GC=RO*15*(D+M/60+S/3600)
400 GC=GH+GC*1.002737909
410 T=GC-LO
420 FT=1
430 IF T<=0 THEN 460
440 IF T>=PI THEN 460
450 FT=-1
460 T=ABS(T)
470 IF T<=PI THEN 490
480 T=2*PI-T
490 Z=ATN(SIN(T)/(COS(LA)*TAN(DO)-SIN(LA)*COS(T)))
500 Z=Z*FT/RO
510 A(I)=Z
520 PRINT
530 NEXT I
540 X=0
550 FOR I=1 TO N
560 X=X+A(I)
570 NEXT I
580 X=X/N
590 IF X>=0 THEN 610
600 X=X+360
```

```
610 XD=INT(X)
620 XM=INT(60*(X-XD))
630 XS=60*(60*(X-XD)-XM)
640 XS=INT(10*XS)/10
650 PRINT "AZIMUTH OF STAR (deg-min-sec):";XD;"-";XM;"-";XS
660 END
```

Daftar Masukan/Keluargan untuk Soal Contoh

```
HOW MANY OBSERVATIONS (DIRECT + REVERSE)? 4   Direct = Instrumen "biasa"
LATITUDE (deg,min,sec)? 43,5.4,00             Reverse = Instrumen "luar biasa"
LONGITUDE (deg,min,sec)? 89,26,00
DECL. (deg,min,sec) AT MOST RECENT TIME BEFORE OBSERVATIONS? 89,11.06,00
DECL. (deg,min,sec) AT NEAREST TIME AFTER OBSERVATIONS? 89,11.02,00
INTERVAL FROM TIME OF DECL. #1 TO TIME OF OBS. (NEAREST 0.1 DAY)? 4.1
INTERVAL FROM TIME OF OBS. TO TIME OF DECL. #2 (NEAREST 0.1 DAY)? 5.9
GHA (deg,min,sec) AT 0hrs GCT ON DAY OF OBSERVATIONS? 218,31.8,00
GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 1 ? 1,30,49

GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 2 ? 1,39,00   (GCT = Greenwich Civil Time)

GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 3 ? 1,44,33

GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 4 ? 1,49,46

AZIMUTH OF STAR (deg,min,sec): 359 - 31 - 24.8  (Azimut bintang)
```

C-4. AZIMUT DARI PENGAMATAN MATAHARI. Program berikut ini menyelesaikan Pers. (19-4) untuk azimut matahari berdasarkan tinggi bintang terukur. Sudut horisontal dari titik ke matahari kemudian harus diterapkan dengan tangan terhadap azimut matahari untuk memperoleh azimut garis. Dapat dipakai beberapa kali pengamatan dengan teropong biasa dan luar biasa, dan azimut matahari menengah dihitung dari padanya.

Program itu menghitung koreksi-koreksi biasan dan paralaks terhadap tinggi-bintang terukur. Koreksi biasan dibuat dengan interpolasi dari harga-harga efemeris yang dimasukkan oleh pemakai untuk sudut-sudut vertikal yang merupakan golongan tinggi-bintang terukur daripada matahari. Paralaks dihitung sebagai fungsi tinggi matahari dan tidak memerlukan masukan (input) khusus. Program ini tidak mengoreksi galat indeks dan setengah-diameter. Jadi dianggap bahwa sejumlah pengamatan biasa yang sama banyak dengan pengamatan luar biasa akan dimasukkan, dan dipakai prisma Roelof atau diamati tepi matahari dengan jumlah sama pada kuadran-kuadran berhadapan diagonal di bidang pemandangan.

Masukan terdiri atas (1) tekanan atmosferik di saat pengamatan (dalam in air raksa); (2) suhu (dalam derajat Fahrenheit); (3) lintang stasiun yang diduduki (dalam derajat, menit, dan sekon); (4) deklinasi matahari (dalam derajat, menit dan sekon) pada jam 0 (nol) GCT hari pengamatan; (5) deklinasi matahari (dalam derajat, menit dan sekon) pada jam nol GCT hari setelah pengamatan; (6) jumlah banyaknya pengamatan, biasa plus luar biasa; (7) pemasukan 1 bila pengamatan pagi hari dan 2 bila sore hari; (8) tinggi-bintang terukur (dalam derajat, menit dan sekon) dan GCT (dalam jam, menit, dan detik) untuk masing-masing pengamatan; (dan (9) harga-harga interpolasi diambil dari efemeris untuk biasan (didorong oleh purata dari semua sudut tinggi-bintang terukur). Ini terdiri atas sudut tinggi-bintang (dalam derajat, menit dan sekon) lebih rendah daripada sudut tinggi-bintang menengah terukur, dan koreksi biasannya (dalam menit); dan sebuah sudut tinggi-bintang (dalam derajat, menit dan sekon) lebih tinggi daripada sudut tinggi-bintang menengah terukur, dan koreksi biasannya (dalam menit).

Daftar program diikuti dengan masukan/keluaran untuk penyelesaian Contoh 19-4 pada teks. Perhatikan bahwa hasil azimut matahari yang tercatat, cocok dengan harga yang diperoleh dalam contoh teks.

Daftar Program

```
100 REM   AZIMUTH FROM SUN OBSERVATIONS
110 PI=3.14159265
120 PRINT "PRESSURE (Inches of Hg)";
130 INPUT P
140 PRINT "TEMPERATURE (FARENHEIT)";
150 INPUT T
160 CP=.014+.0333*P
170 CT=1.108-.00241*T+4.44E-6*T*T
180 PRINT "LATITUDE (deg,min,sec)";
190 INPUT D,M,S
200 LT=(D+M/60+S/3600)*PI/180
210 PRINT "DECL (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY OF OBSERVATION";
220 INPUT D,M,S
230 DB=D+M/60+S/3600
240 PRINT "DECL. (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY AFTER OBSERVATION";
250 INPUT D,M,S
260 DA=D+M/60+S/3600
270 PRINT "NUMBER OF OBSERVATIONS";
280 INPUT N
290 PRINT "ENTER '1' FOR MORNING OBSERVATIONS, '2' FOR AFTERNOON";
300 INPUT MA
310 IF MA=1 THEN 340
320 IF MA=2 THEN 340
330 GOTO 290
340 GC=0
350 H=0
360 FOR I=1 TO N
370 PRINT"OBSERVATION #";I
380 PRINT "ALTITUDE (deg,min,sec)";
390 INPUT D,M,S
400 H=H+D+M/60+S/3600
410 PRINT "GCT (hr,min,sec)";
420 INPUT D,M,S
430 GC=GC+D+M/60+S/3600
440 NEXT I
450 H=H/N
460 GC=GC/N
470 TD=(DB+(DA-DB)*GC/24)*PI/180
480 D=INT(H)
490 M=INT(60*(H-D))
500 PRINT"ENTER INTERPOLATION VALUES FOR REFRACTION (H=";D;"deg";M;"min)"
510 PRINT "LOWER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)";
520 INPUT D,M,RL
530 HL=D+M/60
540 PRINT "HIGHER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)";
550 INPUT D,M,RH
560 HH=D+M/60
570 R=RL+(RH-RL)*(H-HL)/(HH-HL)
580 Z=4.2606E-5*SIN((H+90)*PI/180)
590 HT=(H-R*CP*CT/60)*PI/180+ATN(Z/SQR(1-Z*Z))
600 Z=SIN(TD)/COS(LT)/COS(HT)-TAN(LT)*TAN(HT)
610 Z=90-ATN(Z/SQR(1-Z*Z))*180/PI
620 IF MA=1 THEN 640
630 Z=360-Z
640 D=INT(Z)
650 M=INT(60*(Z-D))
660 S=INT(60*(60*(Z-D)-M))
670 PRINT
680 PRINT
690 PRINT"AZIMUTH OF SUN (deg-min-sec):";D;"-";M;"-";S
700 END
```

Daftar Masukan/Keluaran untuk Soal Contoh

```
PRESSURE (Inches of Hg)? 28.7
TEMPERATURE (FARENHEIT)? 80
LATITUDE (deg,min,sec)? 42,45,00
DECL. (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY OF OBSERVATION? 18,42.2,00
DECL. (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY AFTER OBSERVATION? 18,27.8,00
NUMBER OF OBSERVATIONS? 4
ENTER '1' FOR MORNING OBSERVATIONS, '2' FOR AFTERNOON? 2
OBSERVATION # 1
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,44,00
GCT (hr,min,sec)? 19,33,10
OBSERVATION # 2
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,32,00
GCT (hr,min,sec)? 19,34,20
OBSERVATION # 3
```

```
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,52,00
GCT (hr,min,sec)? 19,35,37
OBSERVATION # 4
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,40,00
GCT (hr,min,sec)? 19,36,49
ENTER INTERPOLATION VALUES FOR REFRACTION (H= 49 deg 42 min)
LOWER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)? 48,00,0.86
HIGHER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)? 50,00,0.80


AZIMUTH OF SUN (deg-min-sec): 245 - 4 - 37
```

APENDIKS D

CONTOH FORMULIR CATATAN

GAMBAR D-1

DISTANCES

A. DETERMINING LENGTH OF PACE

No. of Paces	Direction	Taped Dist.
154	S	400'
155	N	400'
155	S	400'
156	N	400'
155	Average	

Length of pace = $\frac{400'}{155}$ = 2.58'

No. of paces per 100' = 39

B. CHECKING LENGTH OF COURSE DE

No. of Paces	Direction
119	N
118	S
119	N
120	S
119	Average

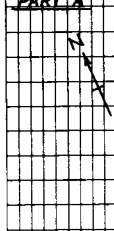
Distance = 119 × 2.58 = 307'

Taped length = 306.83' (Check)

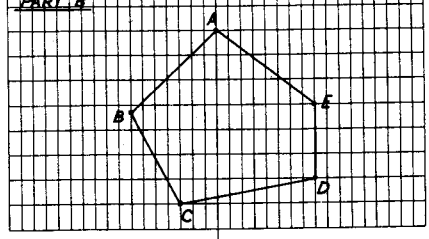
BY PACING

UWM Survey Camp
22 Sept. 1998
Fair, Warm, 65°F
T. Henderson

PART A



PART B



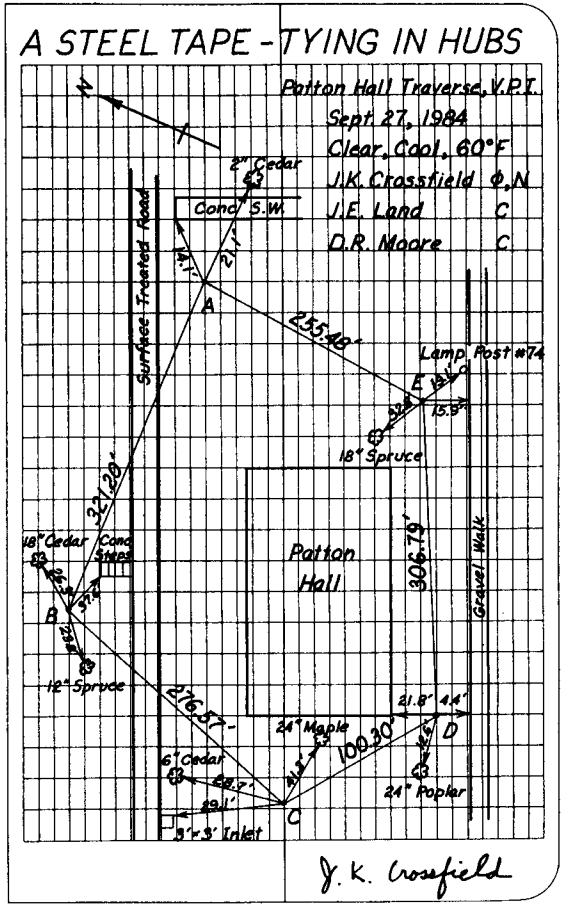
J. Henderson

GAMBAR D-2

MEASURING DISTANCES WITH A STEEL TAPE - TYING IN HUBS

Hub	Sta.	Dist.
A	0+00	
		321.20′
B	3+21.42	
		276.57′
C	5+97.99	
		100.30′
D	6+98.29	
		306.79′
E	10+05.16	
		255.48′
A	12+60.64	
Σ	1260.64	1260.34

Ratio of error = $\frac{0.30}{1260.49} = \frac{1}{4200}$



GAMBAR D-3

DIFFERENTIAL LEVELS

Sta.	+ Sight	HI	− Sight	Elev.	Dist.
BM Mil.				100.00	
	1.33	101.33			150
TP 1			8.37	92.96	150
	0.22	93.18	7.91		135
TP 2			~~8.91~~	85.27	135
	0.96	86.23			160
TP 3			11.72	74.51	160
	0.46	74.97			160
BM Rutgers			8.71	66.26	160
	2.97		36.71		1210
BM Rutgers				66.26	
	11.95	78.21			180
TP 1			2.61	75.60	180
	12.55	88.15			180
TP 2			0.68	87.47	180
	12.77	100.24			155
BM Mil.			0.21	100.03	155
	37.27		3.50		1030
BM Rutgers	True elev. above MSL			2053.18	
	Elev. diff. (average)			33.75	
BM Mil.	MSL elev.			2086.93	

V.P.I. CAMPUS

BM Mil. to BM Rutgers
29 Sept. 1984
Clear, Warm, 70°F
M.M. Clark M
J.F. King Ø
D.R. Moore A
Gurley Level #6

BM Mil. on V.P.I. Campus SW of Old Military Bldg. 9.4 ft. north of sidewalk to instrument room and 1.6 ft. from bldg. Bronze disc in pipe flush with ground.

BM Rutgers SE of Patton Hall opposite main entrance and 8 ft. from curb around drill field. Bronze disc flush with ground set in 6" concrete cylinder and stamped "Rutgers."

Rod Sums		Elev. Checks	
−36.71	+37.27	+100.00	+66.26
+ 2.97	− 3.50	− 33.74	+33.77
−33.74	+33.77	+ 66.26 ✓	+100.03 ✓
	−33.74		

Loop misclosure 0.03

Permissible misclosure = $0.05\sqrt{M}$

$= 0.05\sqrt{4234/5280} = 0.03'$

Marian M. Clark

GAMBAR D-4

RECIPROCAL LEVELING

Station	+ Sight		− Sight	Elev. Diff.	Elev.
BM Rutgers	2.605				2053.182
BM Eggle			12.304		
			12.302		
			12.293		
			12.297		
BM Eggle		Avg.	12.299	9.694	2043.488
BM Rutgers	1.528				
	1.517				
	1.519				
	1.522				
	1.522	Avg.			
			11.203	9.681	2043.501
		Misclosure		0.013	
		Mean		9.688	
BM Eggle					2043.494

ACROSS DRILL FIELD

V.P.I. Campus
04 Oct. 1984
Clear, Hot, 80°F
C.D. Ghilani N
H.W. Mills Φ
M. Eidson ⊼
K&E Level #7

Description on page 3

BM Eggle NE corner of 2nd step of entrance to Eggleston Hall. An "X" chiseled in concrete.

C. Ghilani

GAMBAR D-5

Station	PROFILE + Sight	HI	LEVELS − Sight	Int. Sight	Elev.
BM Road	10.14	370.62			360.48
0+00				9.36	361.26
0+20				9.8	360.8
1+00				6.5	364.1
2+00				4.3	366.3
2+60				3.7	366.9
3+00				7.1	363.5
3+90				11.7	358.9
4+00				11.2	359.4
4+35				9.5	361.1
TP 1	7.33	366.48	11.47		359.15
5+00				8.4	358.1
5+54				11.08	355.40
5+74				10.66	355.82
5+94				11.06	355.42
6+00				10.5	356.0
7+00				4.4	362.1
TP 2	2.55	363.77	5.26		361.22
8+00				1.2	362.6
9+00				3.9	359.9
9+25.2				3.4	360.4
9+25.3				4.6	359.2
9+43.2				2.2	361.6
BM Store			0.76		363.01
Σ	20.02		17.49		

BM ROAD to BM STORE

BM Road 3 miles SW of Mpls. 200 yds. N of Pine St. overpass 40 ft. E of ℄ Hwy. 169. Top of BM conc. post No. 268.

SW Minneapolis on Hwy 169

6 Oct 1984

℄ Hwy 169, painted "X"

Cool, Sunny, 50°F

West drainage ditch

R.J. Hintz N

N.R. Olson ⊕

R.C. Perry X

Summit

Wild Level #3

Sag

Summit

COPY

E gutter, Maple St. +20.02

℄ Maple St. -17.49

W gutter, Maple St. + 2.53

360.48

363.01

Summit

Top of E curb, Elm St.

Bottom of E curb, Elm St.

℄ Elm St.

BM Store NE corner Elm St & 4th Ave. SE corner Store foundation wall. 3" brass disc set in grout.

R.J. Hintz

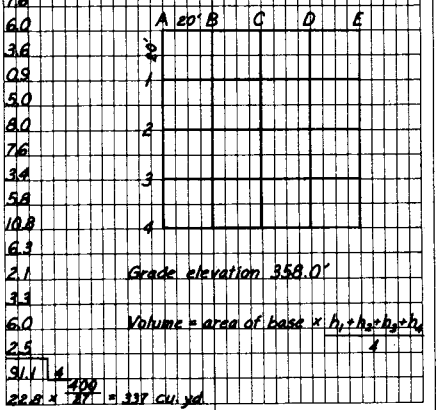
GAMBAR D-6

BORROW-PIT LEVELING

Point	+ Sight	HI	− Sight	Elev.	Cut
BM Road	4.22	364.70		360.48	
A,0			5.2	359.5	1.5
B,0			5.4	359.3	1.3
C,0			5.7	359.0	1.0
D,0			5.9	358.8	0.8
E,0			6.2	358.5	0.5
A,1			4.7	360.0	2.0
B,1			4.8	359.9	1.9
C,1			5.2	359.5	1.5
D,1			5.5	359.2	1.2
E,1			5.8	358.9	0.9
A,2			4.2	360.5	2.5
B,2			4.7	360.0	2.0
C,2			4.8	359.9	1.9
D,2			5.0	359.7	1.7
A,3			3.8	360.9	2.9
B,3			4.0	360.7	2.7
C,3			4.6	360.1	2.1
D,3			4.6	360.1	2.1
A,4			3.4	361.3	3.3
B,4			3.7	361.0	3.0
C,4			4.2	360.5	2.5
BM Road	4.23				

SECOND & OAK STREETS

Madison, WI
Cool, Cloudy, 60°F
B.A. DeWitt N
B.K. Harris Ø
E.A. Custer M
11 Oct 1984
Kern Level #13



Grade elevation 358.0'

Volume = area of base × $\frac{h_1+h_2+h_3+h_4}{4}$

91.1 × $\frac{400}{27}$ = 337 cu. yd.

B.A. Dewitt

GAMBAR D-7

CLOSING THE HORIZON

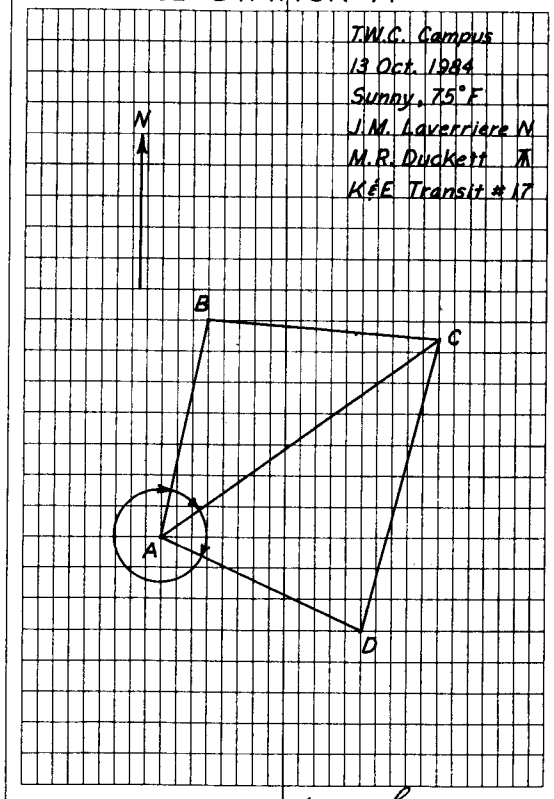
℔ at ΔA

All angles read clockwise

Object	Vern. A	Vern. B	Mean	Unadj. Angle	Sta. Adj. Angle
	Reading ΔB to ΔC				
ΔB	0°00'00"	180°00'00"	0°00'00"		
3 Rep N	126°36'20"	306°36'20"	(Read for prelim. check)		
3 Rep P	253°13'00"	73°13'00"	253°13'00"	42°12'10"	42°12'09"
	Reading ΔC to ΔD				
3 Rep N	(Reading not required)				
3 Rep P (Elev)	252°53'40"	72°54'00"	252°53'50"	59°56'48"	59°56'47"
	Reading ΔD to ΔB				
3 Rep N	(Reading not required)				
3 Rep P (Elev)	0°00'20"	180°00'20"	0°00'20"	257°51'05"	257°51'04"
				360°00'03"	360°00'00"
	Vernier misclosure			0°00'20"	
	Horizon misclosure			0°00'03"	
	Sta. adjustment			0°00'01"	

Δ STATION A

T.W.C. Campus
13 Oct. 1984
Sunny, 75° F
J.M. Laverriere W
M.R. Duckett ℔
K&E Transit # 17



James Laverriere

GAMBAR D-8

DOUBLE DIRECT ANGLES

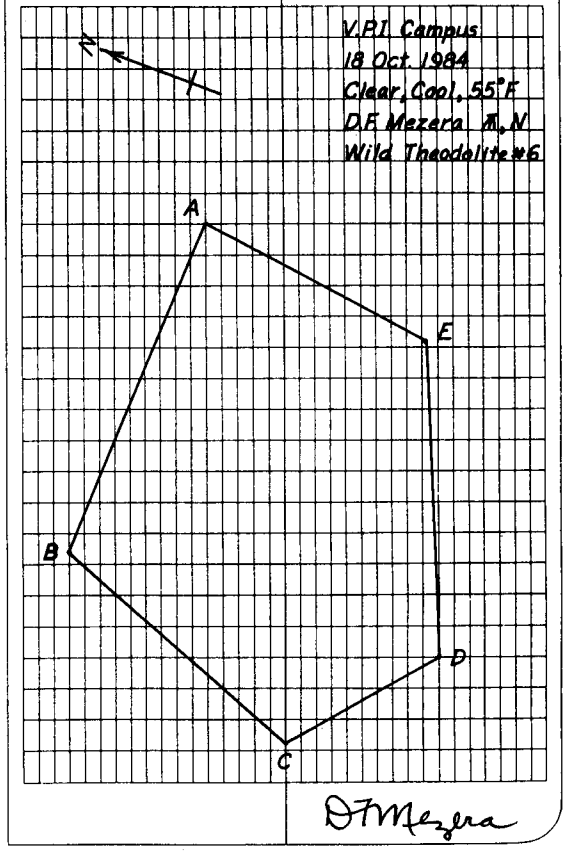
Hub	Dist.	Single ∠	Double ∠	Avg. ∠
A		38°58.0′	77°56.8′	38°58.4′
	321.31′			
B		148°53.6′	297°47.0′	148°53.5′
	276.57′			
C		84°28.1′	168°56.2′	84°28.1′
	100.30′			
D		114°40.3′	229°20.9′	114°40.4′
	306.83′			
E		152°59.4′	305°58.6′	152°59.3′
	255.48′			
A				
Σ	1260.49′			539°59.7′

Misclosure 0°00.3′

Σ interior ∠s = (N-2)180°
= (5-2)180°
= 540°00′

PATTON HALL TRAVERSE

V.P.I. Campus
18 Oct. 1984
Clear, Cool, 55°F
D.F. Mezera, R. N.
Wild Theodolite #6

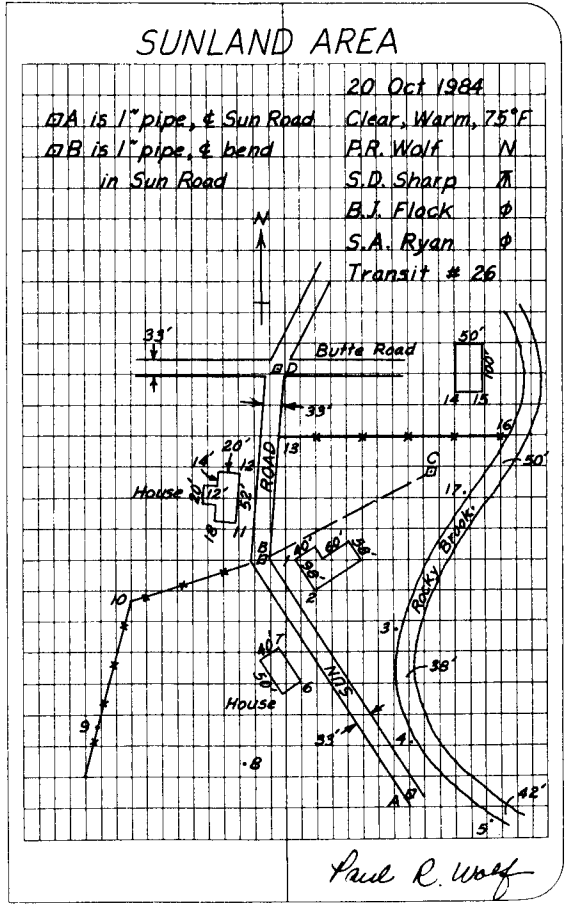


GAMBAR D-9

STADIA SURVEY

Station	Stadia Interval	Azimuth	Vert. ∠ or Rod R.	Horiz. Dist.	Elev.
	⊼ @ ⊡B, Elev. 177.42, h.i. = 5.0				
⊡A	6.74	148°04′	-0°34′	675	170.7
⊡C	4.21	60°12′	-1°35′	422	165.8
1	0.91	90°45′	8.3	92	174.1
2	1.66	120°20′	-2°12′	167	171.0
3	3.15	126°30′	-2°06′	316	165.9
4	4.60	143°45′	-1°23′	461	166.0
5	7.85	141°30′	-0°38′	786	168.7
6	2.47	167°20′	8.6	248	173.8
7	1.97	172°20′	9.6	198	172.8
8	4.99	181°15′	3.2	500	179.2
9	5.79	221°45′	+1°02′	580	187.8
10	3.47	256°00′	+1°50′	348	188.5
11	1.17	342°05′	2.4	118	180.0
12	1.71	350°15′	2.4	172	180.0
⊡D	4.49	6°10′	5.2	450	177.2
⊡A	6.74	148°04′	-0°34′	675	170.7
	⊼ @ ⊡C, Elev. 165.77, h.i. = 5.2				
⊡B	4.20	240°12′	+1°34′	421	177.3
13	3.21	286°00′	+2°01′	322	177.1
14	2.36	32°05′	8.5	237	162.5
15	2.60	41°50′	10.0	261	161.0
16	4.59	68°30′	-1°22′	460	154.8

SUNLAND AREA



GAMBAR D-10

CROSS-SECTION LEVELING

Sta.	+ Sight	HI	− Sight	Elev.	
5+00			9.5		
4+00			12.6		
TP 1	10.25	106.61	1.87	96.36	
3+00			2.1		
2+50			5.8		
2+00			7.4		
1+35			9.7		
1+00			5.6		
0+50			7.6		
0+00			8.5		
BM Pod	8.51	98.23		89.72	

HONOLULU-KAILUA HIGHWAY

Diamond Highway
25 Oct 1984
Warm, Sunny, 70°
A.C. Chun A
R.E. Neilan N
W.E. Grube Φ.C.
M.L. Hagawa C
Lietz level # 10

99.2 / 7.4 / 52 — 101.5 / 5.1 / 30 — 97.4 / 9.2 / 10 — 97.1 / 9.5 — 95.8 / 10.8 / 12 — 97.0 / 9.6 / 28 — 103.8 / 2.8 / 45

102.3 / 4.3 / 48 — 99.9 / 6.7 / 24 — 98.4 / 8.2 / 8 — 94.0 / 12.6 — 100.1 / 6.5 / 10 — 101.5 / 5.1 / 25 — 98.7 / 7.9 / 50

95.2 / 9.0 / 50 — 95.8 / 2.4 / 25 — 96.5 / 1.6 / 10 — 96.1 / 2.1 — 94.4 / 3.8 / 8 — 91.1 / 7.1 / 31 — 95.7 / 2.5 / 48

95.1 / 3.1 / 48 — 92.8 / 5.4 / 32 — 89.5 / 8.7 / 15 — 93.8 / 4.4 / 8 — 92.4 / 5.8 — 90.7 / 7.5 / 10 — 93.4 / 4.8 / 25 — 96.6 / 1.6 / 50

92.3 / 5.9 / 54 — 90.0 / 8.2 / 30 — 90.8 / 7.4 / 10 — 90.8 / 7.4 — 91.3 / 6.9 / 9 — 93.2 / 5.0 / 25 — 95.9 / 2.3 / 40

85.4 / 12.8 / 48 — 88.9 / 9.3 / 25 — 85.7 / 12.5 / 10 — 88.5 / 9.7 — 89.8 / 8.4 / 8 — 91.7 / 6.5 / 15 — 94.1 / 4.1 / 45

88.6 / 9.6 / 52 — 97.2 / 1.0 / 28 — 92.2 / 6.0 / 12 — 92.6 / 5.6 — 95.8 / 2.4 / 10 — 93.6 / 4.6 / 28 — 93.4 / 4.8 / 30

90.0 / 8.2 / 50 — 97.0 / 1.2 / 25 — 92.7 / 5.5 / 8 — 90.6 / 7.6 — 94.4 / 3.8 / 9 — 93.4 / 2.8 / 24 — 85.5 / 12.7 / 42

88.6 / 9.6 / 50 — 96.1 / 2.1 / 25 — 92.0 / 6.2 / 10 — 89.7 / 8.5 — 93.5 / 4.7 / 8 — 97.0 / 1.2 / 25 — 91.5 / 6.7 / 50

BM Pod - Kalaʻi Valley, Oahu, Ewa-makai corner Hibiscus and Kiawe Drives, Spike in 30" monkey pod tree, 2 ft. above ground.

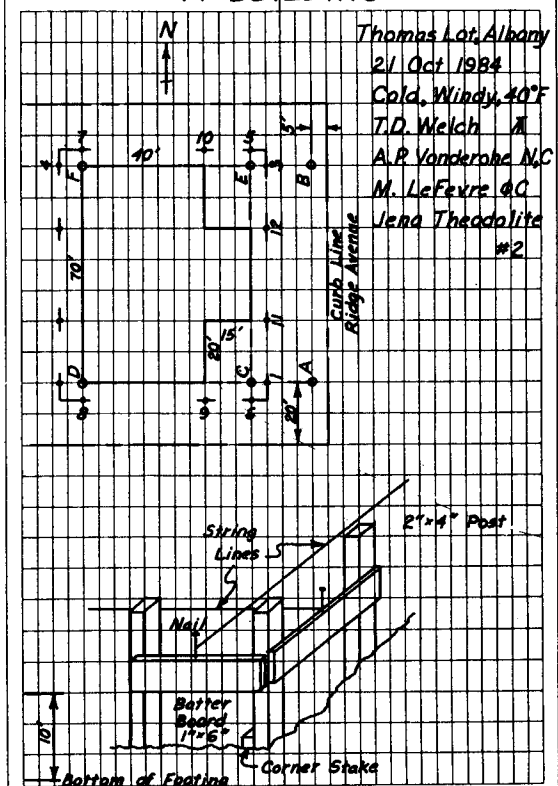
Ruth E. Neilan

GAMBAR D-11

STAKING OUT

Steps	
1	Set hubs A and B 5' inside curb line, hub A 20' from South property line, hub B 70.00' from A.
2	Set ⊼ at hub A. BS on hub B. Turn 90°∡. Set batter board nails 1 and 2, stakes C and D.
3	Set ⊼ at hub B. BS on hub A. Turn 90°∡. Set batter board nails 3 and 4, stakes E and F.
4	Measure diagonals CF and DE Adjust error if small, restake if large.
5	Set ⊼ at C. BS on E. Set batter board nail 5. Plunge and set nail 6.
6	Set ⊼ at D. BS on F. Set nail 7. Plunge and set nail 8.
7	Set batter board nails 9, 10, 11, and 12 by measurements from established pts.

A BUILDING



GAMBAR D-12

8" SEWER STAKEOUT

(1) Station	(2) +Sight	(3) HI	(4) -Sight	(5) Ground Elev.	(6) Pipe Flow Line
BM 16	2.11	102.76		100.65	
0+00			6.21	96.55	96.55
+00 ℄			3.20	99.56	96.55
+50 ℄			3.91	98.85	95.95
1+00 ℄			4.07	98.69	95.34
+31 ℄			8.22	94.54	94.97
+50 ℄			4.01	98.75	94.74
2+00 ℄			4.52	98.24	94.14
+33.7 ℄			5.03	97.73	93.73
+33.7			9.03	93.73	93.73
BM 16			2.11 ✓	100.65	

Flowline Calculations

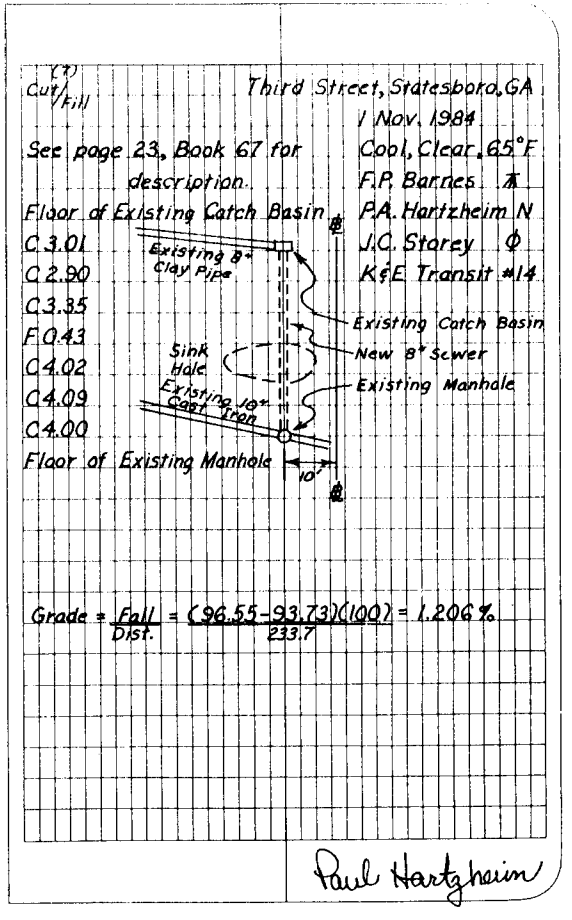
Line drops 50' (1.206%) = 0.60' per 50'

Example

Sta. 0+50 = 96.55 - 0.60 = 95.95

1+00 = 96.55 - 1.21 = 95.34

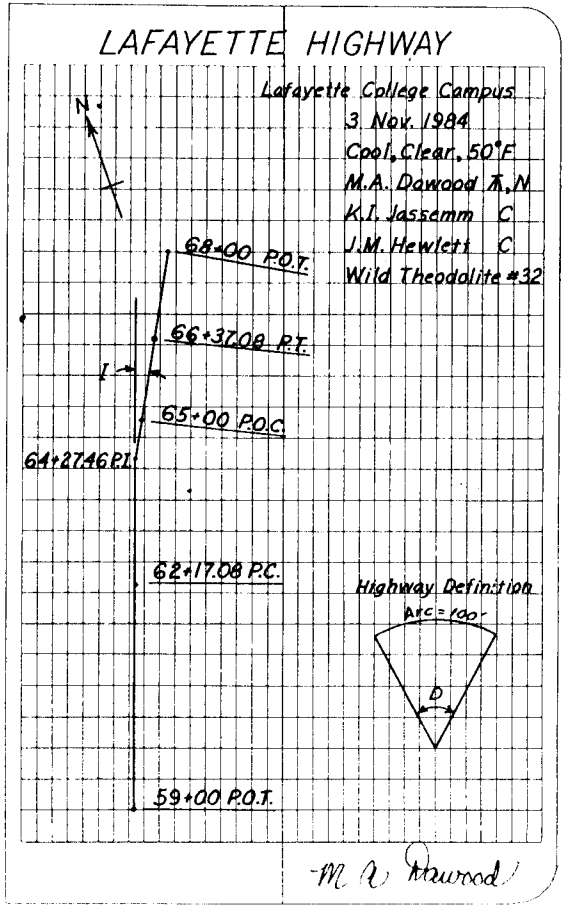
1+31 = 96.55 - 131 (1.206%) = 94.97



GAMBAR D-13

ALIGNMENT OF

Station	Chord	Total Def.	Calc. Bearing	Mag. Bearing	Curve Data
P.O.T. 68	100.00				
67	62.92				
			N24°42'E	N24°45'E	
P.T. 66+37.08	37.08	4°12'00"			
		45'			Δ=8°24'
66	100.00	3°49'45"			R=2864.79'
					D=2°00'
P.O.C. 65	100.00	2°49'45"			L=420.00'
					T=210.38'
64	100.00	1°49'45"			E=7.71'
					M=7.69'
63	82.92	0°49'45"			Defl./ft. = 0.6 min.
P.C. 62+17.08	17.08	0°00'00"			
			N16°18'E	N16°30'E	
62	100.00				
61	100.00				
60	100.00				
P.O.T. 59					



Δ Elevasi adalah negatif bila $z > 90°$

TABEL E-1. REDUKSI TAKIMETRI

↓ MENIT	$a = 0°$ $z = 90°$ JARAK HOR.	$a = 0°$ $z = 90°$ BEDA ELEV.	$a = 1°$ $z = 91°$ JARAK HOR.	$a = 1°$ $z = 91°$ BEDA ELEV.	$a = 2°$ $z = 92°$ JARAK HOR.	$a = 2°$ $z = 92°$ BEDA ELEV.	$a = 3°$ $z = 93°$ JARAK HOR.	$a = 3°$ $z = 93°$ BEDA ELEV.	
0	100,00	0,00	99,97	1,74	99,88	3,49	99,73	5,23	60′
2	100,00	0,06	99,97	1,80	99,87	3,55	99,72	5,28	
4	100,00	0,12	99,97	1,86	99,87	3,60	99,71	5,34	
6	100,00	0,17	99,96	1,92	99,87	3,66	99,71	5,40	
8	100,00	0,23	99,96	1,98	99,86	3,72	99,70	5,46	
10	100,00	0,29	99,96	2,04	99,86	3,78	99,69	5,52	50′
12	100,00	0,35	99,96	2,09	99,85	3,84	99,69	5,57	
14	100,00	0,41	99,95	2,15	99,85	3,89	99,68	5,63	
16	100,00	0,47	99,95	2,21	99,84	3,95	99,68	5,69	
18	100,00	0,52	99,95	2,27	99,84	4,01	99,67	5,75	
20	100,00	0,58	99,95	2,33	99,83	4,07	99,66	5,80	40′
22	100,00	0,64	99,94	2,38	99,83	4,13	99,66	5,86	
24	100,00	0,70	99,94	2,44	99,82	4,18	99,65	5,92	
26	99,99	0,76	99,94	2,50	99,82	4,24	99,64	5,98	
28	99,99	0,81	99,93	2,56	99,81	4,30	99,63	6,04	
30	99,99	0,87	99,93	2,62	99,81	4,36	99,63	6,09	30′
32	99,99	0,93	99,93	2,67	99,80	4,42	99,62	6,15	
34	99,99	0,99	99,93	2,73	99,80	4,47	99,61	6,21	
36	99,99	1,05	99,92	2,79	99,79	4,53	99,61	6,27	
38	99,99	1,11	99,92	2,85	99,79	4,59	99,60	6,32	
40	99,99	1,16	99,92	2,91	99,78	4,65	99,59	6,38	20′
42	99,99	1,22	99,91	2,97	99,78	4,71	99,58	6,44	
44	99,98	1,28	99,91	3,02	99,77	4,76	99,58	6,50	
46	99,98	1,34	99,90	3,08	99,77	4,82	99,57	6,56	
48	99,98	1,40	99,90	3,14	99,76	4,88	99,56	6,61	
50	99,98	1,45	99,90	3,20	99,76	4,94	99,55	6,67	10′
52	99,98	1,51	99,89	3,26	99,75	4,99	99,55	6,73	
54	99,98	1,57	99,89	3,31	99,74	5,05	99,54	6,79	
56	99,97	1,63	99,89	3,37	99,74	5,11	99,53	6,84	
58	99,97	1,69	99,88	3,43	99,73	5,17	99,52	6,90	
60	99,97	1,74	99,88	3,49	99,73	5,23	99,51	6,96	00′
$C = 0,75$	0,75	0,01	0,75	0,02	0,75	0,03	0,75	0,05	
$C = 1,00$	1,00	0,01	1,00	0,03	1,00	0,04	1,00	0,06	
$C = 1,25$	1,25	0,02	1,25	0,03	1,25	0,05	1,25	0,08	
	+ $z = 89°$		+ $z = 88°$		+ $z = 87°$		+ $z = 86°$		Minutes

Δ Elevasi adalah positif bila $z < 90°$

TABEL E-I. (Lanjutan)

MENIT	$a = 4°$ $z = 94°$ JARAK HOR.	$a = 4°$ $z = 94°$ BEDA ELEV.	$a = 5°$ $z = 95°$ JARAK HOR.	$a = 5°$ $z = 95°$ BEDA ELEV.	$a = 6°$ $z = 96°$ JARAK HOR.	$a = 6°$ $z = 96°$ BEDA ELEV.	$a = 7°$ $z = 97°$ JARAK HOR.	$a = 7°$ $z = 97°$ BEDA ELEV.	
0	99,51	6.96	99,24	8.68	98,91	10,40	98,51	12,10	60′
2	99,51	7.02	99,23	8,74	98,90	10,45	98,50	12,15	
4	99,50	7.07	99,22	8,80	98,88	10,51	98,49	12,21	
6	99,49	7.13	99,21	8,85	98,87	10,57	98,47	12,27	
8	99,48	7.19	99,20	8,91	98,86	10,62	98,46	12,32	
10	99,47	7.25	99,19	8,97	98,85	10,68	98,44	12,38	50′
12	99,46	7.30	99,18	9,03	98,83	10,74	98,43	12,43	
14	99,46	7.36	99,17	9,08	98,82	10,79	98,41	12,49	
16	99,45	7.42	99,16	9,14	98,81	10,85	98,40	12,55	
18	99,44	7.48	99,15	9,20	98,80	10,91	98,39	12,60	
20	99,43	7.53	99,14	9,25	98,78	10,96	98,37	12,66	40′
22	99,42	7.59	99,13	9,31	98,77	11,02	98,36	12,72	
24	99,41	7.65	99,11	9,37	98,76	11,08	98,34	12,77	
26	99,40	7.71	99,10	9,43	98,74	11,13	98,33	12,83	
28	99,39	7.76	99,09	9,48	98,73	11,19	98,31	12,88	
30	99,38	7.82	99,08	9,54	98,72	11,25	98,30	12,94	30′
32	99,38	7.88	99,07	9,60	98,71	11,30	98,28	13,00	
34	99,37	7.94	99,06	9,65	98,69	11,36	98,27	13,05	
36	99,36	7.99	99,05	9,71	98,68	11,42	98,25	13,11	
38	99,35	8.05	99,04	9,77	98,67	11,47	98,24	13,17	
40	99,34	8.11	99,03	9,83	98,65	11,53	98,22	13,22	20′
42	99,33	8.17	99,01	9,88	98,64	11,59	98,20	13,28	
44	99,32	8.22	99,00	9,94	98,63	11,64	98,19	13,33	
46	99,31	8.28	98,99	10,00	98,61	11,70	98,17	13,39	
48	99,30	8.34	98,98	10,05	98,60	11,76	98,16	13,45	
50	99,29	8.40	98,97	10,11	98,58	11,81	98,14	13,50	10′
52	99,28	8.45	98,96	10,17	98,57	11,87	98,13	13,56	
54	99,27	8.51	98,94	10,22	98,56	11,93	98,11	13,61	
56	99,26	8.57	98,93	10,28	98,54	11,98	98,10	13,67	
58	99,25	8.63	98,92	10.34	98,53	12,04	98,08	13,73	
60	99,24	8.68	98,91	10,40	98,51	12,10	98,06	13,78	00′
$C = 0,75$	0,75	0.06	0,75	0,07	0,75	0,08	0,74	0,10	
$C = 1,00$	1,00	0.08	1,00	0,10	0,99	0,11	0,99	0,13	
$C = 1,25$	1,25	0.10	1,24	0,12	1,24	0,14	1,24	0,16	
	+ $z = 85°$		+ $z = 84°$		+ $z = 83°$		+ $z = 82°$		Menit

TABEL E-1 (Lanjutan)

MENIT	$a = 8°$ $z = 98°$ JARAK HOR.	$a = 8°$ $z = 98°$ BEDA ELEV.	$a = 9°$ $z = 99°$ JARAK HOR.	$a = 9°$ $z = 99°$ BEDA ELEV.	$a = 10°$ $z = 100°$ JARAK HOR.	$a = 10°$ $z = 100°$ BEDA ELEV.	$a = 11°$ $z = 101°$ JARAK HOR.	$a = 11°$ $z = 101°$ BEDA ELEV.	
0	98,06	13,78	97,55	15,45	96,98	17,10	96,36	18,73	60′
2	98,05	13,84	97,53	15,51	96,96	17,16	96,34	18,78	
4	98,03	13,89	97,52	15,56	96,94	17,21	96,32	18,84	
6	98,01	13,95	97,50	15,62	96,92	17,26	96,29	18,89	
8	98,00	14,01	97,48	15,67	96,90	17,32	96,27	18,95	
10	97,98	14,06	97,46	15,73	96,88	17,37	96,25	19,00	50′
12	97,97	14,12	97,44	15,78	96,86	17,43	96,23	19,05	
14	97,95	14,17	97,43	15,84	96,84	17,48	96,21	19,11	
16	97,93	14,23	97,41	15,89	96,82	17,54	96,18	19,16	
18	97,92	14,28	97,39	15,95	96,80	17,59	96,16	19,21	
20	97,90	14,34	97,37	16,00	96,78	17,65	96,14	19,27	40′
22	97,88	14,40	97,35	16,06	96,76	17,70	96,12	19,32	
24	97,87	14,45	97,33	16,11	96,74	17,76	96,09	19,38	
26	97,85	14,51	97,31	16,17	96,72	17,81	96,07	19,43	
28	97,83	14,56	97,29	16,22	96,70	17,86	96,05	19,48	
30	97,82	14,62	97,28	16,28	96,68	17,92	96,03	19,54	30′
32	97,80	14,67	97,26	16,33	96,66	17,97	96,00	19,59	
34	97,78	14,73	97,24	16,39	96,64	18,03	95,98	19,64	
36	97,76	14,79	97,22	16,44	96,62	18,08	95,96	19,70	
38	97,75	14,84	97,20	16,50	96,60	18,14	95,93	19,75	
40	97,73	14,90	97,18	16,55	96,57	18,19	95,91	19,80	20′
42	97,71	14,95	97,16	16,61	96,55	18,24	95,89	19,86	
44	97,69	15,01	97,14	16,66	96,53	18,30	95,86	19,91	
46	97,68	15,06	97,12	16,72	96,51	18,35	95,84	19,96	
48	97,66	15,12	97,10	16,77	96,49	18,41	95,82	20,02	
50	97,64	15,17	97,08	16,83	96,47	18,46	95,79	20,07	10′
52	97,62	15,23	97,06	16,88	96,45	18,51	95,77	20,12	
54	97,61	15,28	97,04	16,94	96,42	18,57	95,75	20,18	
56	97,59	15,34	97,02	16,99	96,40	18,62	95,72	20,23	
58	97,57	15,40	97,00	17,05	96,38	18,68	95,70	20,28	
60	97,55	15,45	96,98	17,10	96,36	18,73	95,68	20,34	00′
$C = 0,75$	0,74	0,11	0,74	0,12	0,74	0,14	0,73	0,15	
$C = 1,00$	0,99	0,15	0,99	0,17	0,98	0,18	0,98	0,20	
$C = 1,25$	1,24	0,18	1,23	0,21	1,23	0,23	1,22	0,25	
	+ $z = 81°$		+ $z = 80°$		+ $z = 79°$		+ $z = 78°$		Menit

TABEL E-1. (Lanjutan)

	$a = 12°$ $z = 102°$		$a = 13°$ $z = 103°$		$a = 14°$ $z = 104°$		$a = 15°$ $z = 105°$		
↓ MENIT	JARAK HOR.	DIFF. ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	
0	95,68	20,34	94,94	21,92	94,15	23,47	93,30	25,00	60′
2	95,65	20,39	94,91	21,97	94,12	23,52	93,27	25,05	
4	95,63	20,44	94,89	22,02	94,09	23,58	93,24	25,10	
6	95,61	20,50	94,86	22,08	94,07	23,63	93,21	25,15	
8	95,58	20,55	94,84	22,13	94,04	23,68	93,18	25,20	
10	95,56	20,60	94,81	22,18	94,01	23,73	93,16	25,25	50′
12	95,53	20,66	94,79	22,23	93,98	23,78	93,13	25,30	
14	95,51	20,71	94,76	22,28	93,95	23,83	93,10	25,35	
16	95,49	20,76	94,73	22,34	93,93	23,88	93,07	25,40	
18	95,46	20,81	94,71	22,39	93,90	23,93	93,04	25,45	
20	95,44	20,87	94,68	22,44	93,87	23,99	93,01	25,50	40′
22	95,41	20,92	94,66	22,49	93,84	24,04	92,98	25,55	
24	95,39	20,97	94,63	22,54	93,82	24,09	92,95	25,60	
26	95,36	21,03	94,60	22,60	93,79	24,14	92,92	25,65	
28	95,34	21,08	94,58	22,65	93,76	24,19	92,89	25,70	
30	95,32	21,13	94,55	22,70	93,73	24,24	92,86	25,75	30′
32	95,29	21,18	94,52	22,75	93,70	24,29	92,83	25,80	
34	95,27	21,24	94,50	22,80	93,67	24,34	92,80	25,85	
36	95,24	21,29	94,47	22,85	93,65	24,39	92,77	25,90	
38	95,22	21,34	94,44	22,91	93,62	24,44	92,74	25,95	
40	95,19	21,39	94,42	22,96	93,59	24,49	92,71	26,00	20′
42	95,17	21,45	94,39	23,01	93,56	24,55	92,68	26,05	
44	95,14	21,50	94,36	23,06	93,53	24,60	92,65	26,10	
46	95,12	21,55	94,34	23,11	93,50	24,65	92,62	26,15	
48	95,09	21,60	94,31	23,16	93,47	24,70	92,59	26,20	
50	95,07	21,66	94,28	23,22	93,45	24,75	92,56	26,25	10′
52	95,04	21,71	94,26	23,27	93,42	24,80	92,53	26,30	
54	95,02	21,76	94,23	23,32	93,39	24,85	92,49	26,35	
56	94,99	21,81	94,20	23,37	93,36	24,90	92,46	26,40	
58	94,97	21,87	94,17	23,42	93,33	24,95	92,43	26,45	
60	94,94	21,92	94,15	23,47	93,30	25,00	92,40	26,50	00′
$C = 0,75$	0,73	0,16	0,73	0,18	0,73	0,19	0,72	0,20	
$C = 1,00$	0,98	0,22	0,97	0,23	0,97	0,25	0,96	0,27	
$C = 1,25$	1,22	0,27	1,22	0,29	1,21	0,31	1,20	0,33	
	+ $z = 77°$		+ $z = 76°$		+ $z = 75°$		+ $z = 74°$		Menit

TABEL E-2. KONVERGENSI-MERIDIAN (RANGE LINES)

LINTANG (DERAJAT)	SELISIH ANTARA BATAS-BATAS SELATAN DAN UTARA TOWNSHIP (LINKS)	SUDUT KONVERGENSI MERIDIAN BERBATASAN (′ ″)	SELISIH BUJUR TIAP MERIDIAN		SELISIH LINTANG DALAM MENIT BUSUR, UNTUK	
			BUSUR (′ ″)	WAKTU (DETIK)	1 mil	6 mil
25	33,9	2 25	5 44,34	22,96		
26	35,4	2 32	5 47,20	23,15		
27	37,0	2 39	5 50,22	23,35	0,871	5,229
28	38,6	2 46	5 53,40	23,56		
29	40,2	2 53	5 56,74	23,78		
30	41,9	3 00	6 00,36	24,02		
31	43,6	3 07	6 04,02	24,27		
32	45,4	3 15	6 07,93	24,53	0,871	5,225
33	47,2	3 23	6 12,00	24,80		
34	49,1	3 30	6 16,31	25,09		
35	50,9	3 38	6 20,95	25,40		
36	52,7	3 46	6 25,60	25,71		
37	54,7	3 55	6 30,59	26,04	0,870	5,221
38	56,8	4 04	6 35,81	26,39		
39	58,8	4 13	6 41,34	26,76		
40	60,9	4 22	6 47,13	27,14		
41	63,1	4 31	6 53,22	27,55		
42	65,4	4 41	6 59,62	27,97	0,869	5,217
43	67,7	4 51	7 06,27	28,42		
44	70,1	5 01	7 13,44	28,90		
45	72,6	5 12	7 20,93	29,39		
46	75,2	5 23	7 28,81	29,92		
47	77,8	5 34	7 37,10	30,47	0,869	5,212
48	80,6	5 46	7 45,79	31,05		
49	83,5	5 59	7 55,12	31,67		
50	86,4	6 12	8 04,83	32,32		
51	89,6	6 25	8 15,17	33,01		
52	92,8	6 39	8 26,13	33,74	0,868	5,207
53	96,2	6 54	8 37,75	34,52		
54	99,8	7 09	8 50,07	35,34		
55	103,5	7 25	9 03,18	36,22		
56	107,5	7 42	9 17,12	37,14		
57	111,6	8 00	9 31,97	38,13	0,867	5,202
58	116,0	8 19	9 47,83	39,19		
59	120,6	8 38	10 04,78	40,32		
60	125,5	8 59	10 22,94	41,52		
61	130,8	9 22	10 42,42	42,83		
62	136,3	9 46	11 03,38	44,22	0,866	5,198
63	142,2	10 11	11 25,97	45,73		
64	148,6	10 38	11 50,37	47,36		
65	155,0	11 08	12 16,82	49,12		
66	162,8	11 39	12 45,55	51,04		
67	170,7	12 13	13 16,88	53,12	0,866	5,195
68	179,3	12 51	13 51,15	55,41		
69	188,7	13 31	14 28,77	57,92		
70	199,1	14 15	15 10,26	60,68	0,866	5,193

TABEL E-3. AZIMUT GARIS SINGGUNG*

LINTANG	0 mil	1 mil	2 mil	3 mil	SUDUT BELOKAN 6 mil
°	° ′	° ′	° ′		° ′
25	89 58,8	89 59,2	89 59,6	90°	2 25
26	58,7	59,2	59,6	T atau B	2 32
27	58,7	59,1	59,6	" " "	2 39
28	58,6	59,1	59,5	" " "	2 46
29	58,6	59,0	59,5	" " "	2 53
30	58,5	59,0	59,5	" " "	3 00
31	58,4	59,0	59,5	" " "	3 07
32	58,4	58,9	59,5	" " "	3 15
33	58,3	58,9	59,4	" " "	3 23
34	58,2	58,8	59,4	" " "	3 30
35	58,2	58,8	59,4	" " "	3 38
36	58,1	58,7	59,4	" " "	3 46
37	58,0	58,7	59,3	" " "	3 55
38	58,0	58,6	59,3	" " "	4 04
39	57,9	58,6	59,3	" " "	4 13
40	57,8	58,5	59,3	" " "	4 22
41	57,7	58,5	59,2	" " "	4 31
42	57,7	58,4	59,2	" " "	4 41
43	57,6	58,4	59,2	" " "	4 51
44	57,5	58,3	59,2	" " "	5 01
45	57,4	58,3	59,1	" " "	5 12
46	57,3	58,2	59,1	" " "	5 23
47	57,2	58,1	59,1	" " "	5 34
48	57,1	58,1	59,0	" " "	5 46
49	57,0	58,0	59,0	" " "	5 59
50	56,9	57,9	59,0	" " "	6 12
51	56,8	57,9	58,9	" " "	6 25
52	56,7	57,8	58,9	" " "	6 39
53	56,6	57,7	58,8	" " "	6 54
54	56,4	57,6	58,8	" " "	7 09
55	56,3	57,5	58,8	" " "	7 25
56	56,2	57,4	58,7	" " "	7 42
57	56,0	57,3	58,7	" " "	8 00
58	55,8	57,2	58,6	" " "	8 19
59	55,7	57,1	58,6	" " "	8 38
60	55,5	57,0	58,5	" " "	8 59
61	55,3	56,9	58,4	" " "	9 22
62	55,1	56,7	58,4	" " "	9 46
63	54,9	56,6	58,3	" " "	10 11
64	54,7	56,5	58,2	" " "	10 38
65	54,4	56,3	58,1	" " "	11 08
66	54,2	56,1	58,1	" " "	11 39
67	53,9	55,9	58,0	" " "	12 13
68	53,6	55,7	57,9	" " "	12 51
69	53,2	55,5	57,8	" " "	13 31
70	89 52,9	89 55,3	89 57,6	" " "	14 15
	6 mil	5 mil	4 mil	3 mil	

* Dari U.S. Department of the Interior, *Patokan Tabel-tabel Lapangan dan Rumus-rumus Trigonometrik*, edisi ke-8, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1950.

TABEL E-4. PERGESERAN (OFFSETS), DALAM LINKS, DARI GARIS SINGGUNG KE PARALEL*

LIN-TANG	0 mi	$\frac{1}{2}$ mil	1 mil	$1\frac{1}{2}$ mil	2 mil	$2\frac{1}{2}$ mil	3 mil
°							
25	2 N.	1 N.	0	1 S.	1 S.	2 S.	2 S.
26	2	1	0	1	1	2	2
27	3	1	0	1	2	2	2
28	3	1	0	1	2	2	2
29	3	1	0	1	2	2	2
30	3	1	0	1	2	2	2
31	3	1	0	1	2	2	2
32	3	1	0	1	2	2	3
33	3	1	0	1	2	2	3
34	3	2	0	1	2	3	3
35	4	2	0	1	2	3	3
36	4	2	0	1	2	3	3
37	4	2	0	1	2	3	3
38	4	2	0	1	2	3	3
39	4	2	0	1	2	3	3
40	4	2	0	1	3	3	3
41	4	2	0	2	3	3	4
42	5	2	0	2	3	3	4
43	5	2	0	2	3	4	4
44	5	2	0	2	3	4	4
45	5	2	0	2	3	4	4
46	5	2	0	2	3	4	4
47	5	2	0	2	3	4	4
48	6	3	0	2	3	4	4
49	6	3	0	2	3	4	5
50	6	3	0	2	4	4	5
51	6	3	0	2	4	5	5
52	6	3	0	2	4	5	5
53	7	3	0	2	4	5	5
54	7	3	0	2	4	5	6
55	7	3	0	3	4	5	6
56	7	3	0	3	4	6	6
57	8	3	0	3	5	6	6
58	8	4	0	3	5	6	6
59	8	4	0	3	5	6	7
60	9	4	0	3	5	7	7
61	9	4	0	3	5	7	7
62	9	4	0	3	6	7	8
63	10	4	0	3	6	7	8
64	10	5	0	4	6	8	8
65	11	5	0	4	6	8	9
66	11	5	0	4	7	8	9
67	12	5	0	4	7	9	9
68	12	6	0	4	7	9	10
69	13	6	0	5	8	10	10
70	14 N.	6 N.	0	5 S.	8 S.	10 S.	11 S.
	6 mil	$5\frac{1}{2}$ mil	5 mil	$4\frac{1}{2}$ mil	4 mil	$3\frac{1}{2}$ mil	3 mil

* Dari U.S. Department of the Interior, *Patokan Tabel-tabel Lapangan dan Rumus-rumus Trigonometrik*, edisi ke-8, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1950.

TABEL E-5. FUNGSI-FUNGSI LENGKUNGAN MELINGKAR

DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOKAN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALI BUSUR		DEFINISI BUSUR	DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOKAN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALI BUSUR		DEFINISI BUSUR
		JARI-JARI R	SIMP. TL. BSR. 1 STA.	JARI-JARI R			JARI-JARI R	SIMP. TL. BSR. 1 STA.	JARI-JARI R
0° 0′		Infinite		Infinite	1° 0′	0,30	5729,65	1,75	5729,58
1′	0,005	343775.	0,03	343775.	1′	0,305	5635,72	1,77	5635,65
2′	0,01	171887.	0,06	171887.	2′	0,31	5544,83	1,80	5544,75
3′	0,015	114592.	0,09	114592.	3′	0,315	5456,82	1,83	5456,74
4′	0,02	85943,7	0,12	85943,7	4′	0,32	5371,56	1,86	5371,48
5′	0,025	68754,9	0,15	68754,9	5′	0,325	5288,92	1,89	5288,84
6′	0,03	57295,8	0,17	57295,8	6′	0,33	5208,79	1,92	5208,71
7′	0,035	49110,7	0,20	49110,7	7′	0,335	5131,05	1,95	5130,97
8′	0,04	42971,8	0,23	42971,8	8′	0,34	5055,59	1,98	5055,51
9′	0,045	38197,2	0,26	38197,2	9′	0,345	4982,33	2,01	4982,24
10′	0,05	34377,5	0,29	34377,5	10′	0,35	4911,15	2,03	4911,07
11′	0,055	31252,3	0,32	31252,2	11′	0,355	4841,98	2,07	4841,90
12′	0,06	28647,8	0,35	28647,8	12′	0,36	4774,74	2,09	4774,65
13′	0,065	26444,2	0,38	26444,2	13′	0,365	4709,33	2,12	4709,24
14′	0,07	24555,4	0,41	24555,3	14′	0,37	4645,69	2,15	4645,60
15′	0,075	22918,3	0,44	22918,3	15′	0,375	4583,75	2,18	4583,66
16′	0,08	21485,9	0,47	21485,9	16′	0,38	4523,44	2,21	4523,35
17′	0,085	20222,1	0,49	20222,0	17′	0,385	4464,70	2,24	4464,61
18′	0,09	19098,6	0,52	19098,6	18′	0,39	4407,46	2,27	4407,37
19′	0,095	18093,4	0,55	18093,4	19′	0,395	4351,67	2,30	4351,58
20′	0,10	17188,8	0,58	17188,7	20′	0,40	4297,28	2,33	4297,18
21′	0,105	16370,2	0,61	16370,2	21′	0,405	4244,23	2,35	4244,13
22′	0,11	15626,1	0,64	15626,1	22′	0,41	4192,47	2,39	4192,37
23′	0,115	14946,8	0,67	14946,7	23′	0,415	4141,96	2,41	4141,86
24′	0,12	14324,0	0,70	14323,9	24′	0,42	4092,66	2,44	4092,56
25′	0,125	13751,0	0,73	13751,0	25′	0,425	4044,51	2,47	4044,41
26′	0,13	13222,1	0,76	13222,1	26′	0,43	3997,49	2,50	3997,38
27′	0,135	12732,4	0,79	12732,4	27′	0,435	3951,54	2,53	3951,43
28′	0,14	12277,7	0,81	12277,7	28′	0,44	3906,64	2,56	3906,53
29′	0,145	11854,3	0,84	11854,3	29′	0,445	3862,74	2,59	3862,64

30′	0,15	11459,2	0,87	11459,2	30′	0,45	3819,83	2,62	3819,71
31′	0,155	11089,6	0,90	11089,5	31′	0,455	3777,85	2,65	3777,74
32′	0,16	10743,0	0,93	10743,0	32′	0,46	3736,79	2,68	3736,68
33′	0,165	10417,5	0,96	10417,4	33′	0,465	3696,61	2,71	3696,50
34′	0,17	10111,1	0,99	10111,0	34′	0,47	3657,29	2,73	3657,18
35′	0,175	9822,18	1,02	9822,13	35′	0,475	3618,80	2,76	3618,68
36′	0,18	9549,34	1,05	9549,29	36′	0,48	3581,10	2,79	3580,99
37′	0,185	9291,25	1,07	9291,21	37′	0,485	3544,19	2,82	3544,07
38′	0,19	9046,75	1,11	9046,70	38′	0,49	3508,02	2,85	3507,91
39′	0,195	8814,78	1,13	8814,73	39′	0,495	3472,59	2,88	3472,47
40′	0,20	8594,42	1,16	8594,37	40′	0,50	3437,87	2,91	3437,75
41′	0,205	8384,80	1,19	8384,75	41′	0,505	3403,83	2,94	3403,71
42′	0,21	8185,16	1,21	8185,11	42′	0,51	3370,46	2,97	3370,34
43′	0,215	7994,81	1,25	7994,76	43′	0,515	3337,74	3,00	3337,62
44′	0,22	7813,11	1,28	7813,06	44′	0,52	3305,65	3,03	3305,53
45′	0,225	7639,49	1,31	7639,44	45′	0,525	3274,17	3,05	3274,04
46′	0,23	7473,42	1,34	7473,36	46′	0,53	3243,29	3,08	3243,16
47′	0,235	7314,41	1,37	7314,35	47′	0,535	3212,98	3,11	3212,85
48′	0,24	7162,03	1,39	7161,97	48′	0,54	3183,23	3,14	3183,10
49′	0,245	7015,87	1,43	7015,81	49′	0,545	3154,03	3,17	3153,90
50′	0,25	6875,55	1,45	6875,49	50′	0,55	3125,36	3,20	3125,22
51′	0,255	6740,74	1,48	6740,68	51′	0,555	3097,20	3,23	3097,07
52′	0,26	6611,12	1,51	6611,05	52′	0,56	3069,55	3,26	3069,42
53′	0,265	6486,38	1,54	6486,31	53′	0,565	3042,39	3,29	3042,25
54′	0,27	6366,26	1,57	6366,20	54′	0,57	3015,71	3,32	3015,57
55′	0,275	6250,51	1,60	6250,45	55′	0,575	2989,48	3,35	2989,34
56′	0,28	6138,90	1,63	6138,83	56′	0,58	2963,72	3,37	2963,58
57′	0,285	6031,20	1,66	6031,14	57′	0,585	2938,39	3,40	2938,25
58′	0,29	5927,22	1,69	5927,15	58′	0,59	2913,49	3,43	2913,34
59′	0,295	5826,76	1,72	5826,69	59′	0,595	2889,01	3,46	2888,86

TABEL E-5. (Lanjutan)

DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOKAN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALI BUSUR		DEFINISI BUSUR	DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOKAN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALI BUSUR		DEFINISI BUSUR
		JARI-JARI R	SIMP. TL. BSR. I STA.	JARI-JARI R			JARI-JARI R	SIMP. TL. BSR. I STA.	JARI-JARI R
2° 0′	0,60	2864,93	3,49	2864,79	3° 0′	0,90	1910,08	5,24	1909,86
1′	0,605	2841,26	3,52	2841,11	1′	0,905	1899,53	5,26	1899,31
2′	0,61	2817,97	3,55	2817,83	2′	0,91	1889,09	5,29	1888,87
3′	0,615	2795,06	3,58	2794,92	3′	0,915	1878,77	5,32	1878,55
4′	0,62	2772,53	3,61	2772,38	4′	0,92	1868,56	5,35	1868,34
5′	0,625	2750,35	3,64	2750,20	5′	0,925	1858,47	5,38	1858,24
6′	0,63	2728,52	3,66	2728,37	6′	0,93	1848,48	5,41	1848,25
7′	0,635	2707,04	3,69	2706,89	7′	0,935	1838,59	5,44	1838,37
8′	0,64	2685,89	3,72	2685,74	8′	0,94	1828,82	5,47	1828,59
9′	0,645	2665,08	3,75	2664,92	9′	0,945	1819,14	5,50	1818,91
10′	0,65	2644,58	3,78	2644,42	10′	0,95	1809,57	5,53	1809,34
11′	0,655	2624,39	3,81	2624,23	11′	0,955	1800,10	5,56	1799,87
12′	0,66	2604,51	3,84	2604,35	12′	0,96	1790,73	5,58	1790,49
13′	0,665	2584,93	3,87	2584,77	13′	0,965	1781,45	5,61	1781,22
14′	0,67	2565,65	3,90	2565,48	14′	0,97	1772,27	5,64	1772,03
15′	0,675	2546,64	3,93	2546,48	15′	0,975	1763,18	5,67	1762,95
16′	0,68	2527,92	3,96	2527,75	16′	0,98	1754,19	5,70	1753,95
17′	0,685	2509,47	3,98	2509,30	17′	0,985	1745,29	5,73	1745,05
18′	0,69	2491,29	4,01	2491,12	18′	0,99	1736,48	5,76	1736,24
19′	0,695	2473,37	4,04	2473,20	19′	0,995	1727,75	5,79	1727,51
20′	0,70	2455,70	4,07	2455,53	20′	1,00	1719,12	5,82	1718,87
21′	0,705	2438,29	4,10	2438,12	21′	1,005	1710,57	5,85	1710,32
22′	0,71	2421,12	4,13	2420,95	22′	1,01	1702,10	5,88	1701,85
23′	0,715	2404,19	4,16	2404,02	23′	1,015	1693,72	5,90	1693,47
24′	0,72	2387,50	4,19	2387,32	24′	1,02	1685,42	5,93	1685,17
25′	0,725	2371,04	4,22	2370,86	25′	1,025	1677,20	5,96	1676,95
26′	0,73	2354,80	4,25	2354,62	26′	1,03	1669,06	5,99	1668,81
27′	0,735	2338,78	4,28	2338,60	27′	1,035	1661,00	6,02	1660,75
28′	0,74	2322,98	4,30	2322,80	28′	1,04	1653,01	6,05	1652,76
29′	0,745	2307,39	4,33	2307,21	29′	1,045	1645,11	6,08	1644,85

30′	0,75	2292,01	4,36	2291,83	30′	1,05	1637,28	6,11	1637,02
31′	0,755	2276,84	4,39	2276,65	31′	1,055	1629,52	6,14	1629,26
32′	0,76	2261,86	4,42	2261,68	32′	1,06	1621,84	6,17	1621,58
33′	0,765	2247,08	4,45	2246,89	33′	1,065	1614,22	6,19	1613,96
34′	0,77	2232,49	4,48	2232,30	34′	1,07	1606,68	6,22	1606,42
35′	0,775	2218,09	4,51	2217,90	35′	1,075	1599,21	6,25	1598,95
36′	0,78	2203,87	4,54	2203,68	36′	1,08	1591,81	6,28	1591,55
37′	0,785	2189,84	4,57	2189,65	37′	1,085	1584,48	6,31	1584,21
38′	0,79	2175,98	4,60	2175,79	38′	1,09	1577,21	6,34	1576,95
39′	0,795	2162,30	4,62	2162,10	39′	1,095	1570,01	6,37	1569,75
40′	0,80	2148,79	4,65	2148,59	40′	1,10	1562,88	6,40	1562,61
41′	0,805	2135,44	4,68	2135,25	41′	1,105	1555,81	6,43	1555,54
42′	0,81	2122,26	4,71	2122,07	42′	1,11	1548,80	6,46	1548,53
43′	0,815	2109,24	4,74	2109,05	43′	1,115	1541,86	6,49	1541,59
44′	0,82	2096,39	4,77	2096,19	44′	1,12	1534,98	6,51	1534,71
45′	0,825	2083,68	4,80	2083,48	45′	1,125	1528,16	6,54	1527,89
46′	0,83	2071,13	4,83	2070,93	46′	1,13	1521,40	6,57	1521,13
47′	0,835	2058,73	4,86	2058,53	47′	1,135	1514,17	6,60	1514,43
48′	0,84	2046,48	4,89	2046,28	48′	1,14	1508,06	6,63	1507,78
49′	0,845	2034,37	4,92	2034,17	49′	1,145	1501,48	6,66	1501,20
50′	0,85	2022,41	4,94	2022,20	50′	1,15	1494,95	6,69	1494,67
51′	0,855	2010,59	4,97	2010,38	51′	1,155	1488,48	6,72	1488,20
52′	0,86	1998,90	5,00	1998,69	52′	1,16	1482,07	6,75	1481,79
53′	0,865	1987,35	5,03	1987,14	53′	1,165	1475,71	6,78	1475,43
54′	0,87	1975,93	5,06	1975,72	54′	1,17	1469,41	6,81	1469,12
55′	0,875	1964,64	5,09	1964,43	55′	1,175	1463,16	6,83	1462,87
56′	0,88	1953,48	5,12	1953,27	56′	1,18	1456,96	6,86	1456,67
57′	0,885	1942,44	5,15	1942,23	57′	1,185	1450,81	6,89	1450,53
58′	0,89	1931,53	5,18	1931,32	58′	1,19	1444,72	6,92	1444,43
59′	0,895	1920,75	5,21	1920,53	59′	1,195	1438,68	6,95	1438,39

TABEL E-6. PANJANG BUSUR DAN TALI BUSUR SEBENARNYA*

	DEFINISI TALI BUSUR D				DEFINISI BUSUR D		
	BUSUR UNTUK	TALI BUSUR SEBENARNYA			TALI BUSUR SEBENARNYA		
D	1 STA.	$\frac{1}{10}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	1 STA.
1°	100,001	10	25	50	25	50	100
2°	100,005	10	25	50	25	50	99,99
3°	100,011	10	25	50	25	50	99,99
4°	100,020	10	25	50,01	25	50	99,98
5°	100,032	10	25,01	50,01	25	50	99,97
6°	100,046	10,01	25,01	50,02	25	50	99,95
7°	100,062	10,01	25,02	50,02	25	50	99,94
8°	100,081	10,01	25,02	50,03	25	49,99	99,92
9°	100,103	10,01	25,02	50,04	25	49,99	99,90
10°	100,127	10,01	25,03	50,05	25	49,98	99,88
11°	100,154	10,02	25,04	50,06	25	49,98	99,85
12°	100,183	10,02	25,04	50,07	25	49,98	99,82
13°	100,215	10,02	25,05	50,08	25	49,97	99,79
14°	100,249	10,02	25,06	50,09	25	49,97	99,75
15°	100,286	10,03	25,07	50,11	25	49,96	99,72
16°	100,326	10,03	25,08	50,12	25	49,96	99,68
17°	100,368	10,04	25,09	50,14	25	49,95	99,63
18°	100,412	10,04	25,10	50,16	24,99	49,95	99,59
19°	100,460	10,04	25,11	50,17	24,99	49,94	99,54
20°	100,510	10,05	25,12	50,19	24,99	49,94	99,49
21°	100,562	10,06	25,13	50,21	24,99	49,93	99,44
22°	100,617	10,06	25,14	50,23	24,99	49,92	99,39
23°	100,675	10,07	25,16	50,25	24,99	49,92	99,33
24°	100,735	10,07	25,17	50,27	24,99	49,91	99,27
25°	100,798	10,08	25,19	50,30	24,99	49,90	99,21
26°	100,863	10,08	25,20	50,32	24,99	49,89	99,14
27°	100,931	10,09	25,22	50,35	24,99	49,88	99,08
28°	101,002	10,10	25,23	50,38	24,98	49,88	99,01
29°	101,075	10,11	25,25	50,40	24,98	49,87	98,94
30°	101,152	10,11	25,27	50,43	24,98	49,86	98,86

TABEL E-6. (Lanjutan)

D	DEFINISI TALI BUSUR D				DEFINISI TALI BUSUR D		
	BUSUR UNTUK 1 STA.	TALI BUSUR SEBENARNYA			TALI BUSUR SEBENARNYA		
		$\frac{1}{10}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	1 STA.
32°	101,312	10,13	25,31	50,49	24,98	49,84	98,71
34°	101,482	10,15	25,35	50,56	24,98	49,82	98,54
36°	101,664	10,16	25,39	50,62	24,97	49,79	98,36
38°	101,857	10,18	25,43	50,69	24,97	49,77	98,18
41°	102,166	10,21	25,51	50,81	24,97	49,73	97,88
44°	102,500	10,25	25,59	50,94	24,96	49,69	97,56
48°	102,986	10,30	25,70	51,12	24,95	49,63	97,10
52°	103,516	10,35	25,82	51,31	24,95	49,57	96,60
57°	104,246	10,42	25,98	51,59	24,94	49,49	95,93
64°	105,394	10,53	26,26	52,01	24,92	49,35	94,88
72°	106,896	10,68	26,61	52,57	24,90	49,18	93,55
82°	109,073	10,90	27,12	53,38	24,87	48,94	91,68
95°	112,445	11,23	27,91	54,63	24,82	48,58	88,93
115°	118,992	11,88	29,44	57,03	24,74	47,93	84,04

Definisi tali busur D

Untuk derajat-derajat kelengkungan tak terdaftar di sini, dapatkan kelebihan busur kira-kira per stasiun dengan interpolasi, atau tepatnya sampai tiga desimal (sampai $D = 15°$) dari rumus:

$$\text{kelebihan} = 0{,}00127\ D^2$$

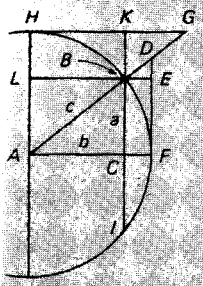
Definisi busur D

Untuk derajat-derajat kelengkungan tak terdaftar di sini, dapatkan kekurangan tali busur kira-kira per stasiun dengan interpolasi, atau tepatnya sampai dua desimal (sampai $D = 30°$) dari rumus:

$$\text{kekurangan} = 0{,}00127\ D^2$$

* Dari Meyer & Gibson, *Rancangan dan Pengukuran Jalur-lintas* hal. 328, edisi ke-5.

TABEL E-7. RUMUS-RUMUS TRIGONOMETRIK UNTUK PENYELESAIAN SEGITIGA SIKU-SIKU



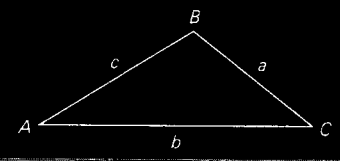
Jika A = sudut BAC = busur BF dan jari-jari $AF = AB = AH = 1$, maka

$\sin A = BC$	$\csc A = AG$
$\cos A = AC$	$\sec A = AD$
$\text{tg } A = DF$	$\text{cotg } A = HG$
$\text{vers } A = CF = BE$	$\text{covers } A = BK = LH$
$\text{exsec } A = BD$	$\text{coexsec } A = BG$
$\text{tali busur } A = BF$	$\text{tali busur } 2A = BI = 2BC$

Dalam segitiga siku-siku ABC, jika $AB = c$, $BC = a$, $CA = b$, maka

1. $\sin A = \dfrac{a}{c}$
2. $\cos A = \dfrac{b}{c}$
3. $\text{tg } A = \dfrac{a}{b}$
4. $\text{cotg } A = \dfrac{b}{a}$
5. $\sec A = \dfrac{c}{b}$
6. $\text{cosec } A = \dfrac{c}{a}$
7. $\text{vers } A = 1 - \cos A = \dfrac{c-b}{c} = \text{covers } B$
8. $\text{exsec } A = \sec A - 1 = \dfrac{c-b}{b} = \text{coexsec } B$
9. $\text{covers } A = \dfrac{c-a}{c} = \text{vers } B$
10. $\text{coexsec } A = \dfrac{c-a}{a} = \text{exsec } B$
11. $a = c \sin A = b \text{ tg } A$
12. $b = c \cos A = a \text{ cotg } A$
13. $c = \dfrac{a}{\sin A} = \dfrac{b}{\cos A}$
14. $a = c \cos B = b \text{ cotg } B$
15. $b = c \sin B = a \text{ tg } B$
16. $c = \dfrac{a}{\cos B} = \dfrac{b}{\sin B}$
17. $a = \sqrt{c^2 - b^2} = \sqrt{(c-b)(c+b)}$
18. $b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{(c-a)(c+a)}$
19. $c = \sqrt{a^2 + b^2}$
20. $C = 90° = A + B$
21. luas $= \frac{1}{2} ab$

TABEL E-8. RUMUS-RUMUS TRIGONOMETRIK UNTUK PENYELESAIAN SEGITIGA SEMBARANG



NO.	DIBERI-KAN	DICARI	RUMUS
22	A, B, a	C, b, c	$C = 180^\circ - (A + B)$ $b = \frac{a}{\sin A} \times \sin B$ $c = \frac{a}{\sin A} \times \sin(A + B) = \frac{a}{\sin A} \times \sin C$
		Luas	Luas $= \frac{1}{2}ab \sin C = \frac{a^2 \sin B \sin C}{2 \sin A}$
23	A, a, b	B, C, c	$\sin B = \frac{\sin A}{a} \times b$ $C = 180^\circ - (A + B)$ $C = \frac{a}{\sin A} \times \sin C$
		Luas	Luas $= \frac{1}{2}ab \sin C$
24	$C, a, b,$	c	$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos C}$
25		$\frac{1}{2}(A + B)$	$\frac{1}{2}(A + B) = 90^\circ - \frac{1}{2}C$
26		$\frac{1}{2}(A - B)$	$\text{tg } \frac{1}{2}(A - B) = \frac{a - b}{a + b} \times \text{tg } \frac{1}{2}(A + B)$
27		A, B	$A = \frac{1}{2}(A + B) + \frac{1}{2}(A - B)$ $B = \frac{1}{2}(A + B) - \frac{1}{2}(A - B)$
28		c	$c = (a + b) \times \frac{\cos \frac{1}{2}(A + B)}{\cos \frac{1}{2}(A - B)} = (a - b) \times \frac{\sin \frac{1}{2}(A + B)}{\sin \frac{1}{2}(A - B)}$
29		Luas	Luas $= \frac{1}{2}ab \sin C$
30	a, b, c	A	Let $s = \frac{a + b + c}{2}$
31			$\sin \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{(s - b)(s - c)}{bc}}$ $\cos \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{s(s - a)}{bc}}$ $\text{tg } \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{(s - b)(s - c)}{s(s - a)}}$
32			$\sin A = \frac{2\sqrt{s(s - a)(s - b)(s - c)}}{bc}$ $\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$
33		Luas	Luas $= \sqrt{s(s - a)(s - b)(s - c)}$

TABEL E-9. HUBUNGAN ANTARA GALAT-LINIER DAN GALAT SUDUT

GALAT SUDUT YANG DIBOLEHKAN UNTUK KESAKSAMAAN LINIER YANG DIBERIKAN		GALAT LINIER YANG DIBOLEHKAN UNTUK KESAKSAMAAN SUDUT YANG DIBERIKAN					
KESAKSAMAAN PENGUKURAN LINIER	GALAT SUDUT YANG DIBOLEHKAN	PEMBACAAN TERKECIL DLM PENGUKURAN SUDUT	GALAT LINIER YANG DIBOLEHKAN DALAM				PERBANDINGAN
			100′	500′	1000′	5000′	
1/500	6′53″	5′	0,145	0,727	1,454	7,272	1/688
1/1000	3′26″	1′	0,029	0,145	0,291	1,454	1/3440
1/5000	0′41″	30″	0,015	0,073	0,145	0,727	1/6880
1/10.000	0′21″	20″	0,010	0,049	0,097	0,485	1/10.300
1/50.000	0′04″	10″	0,005	0,024	0,049	0,242	1/20.600
1/100.000	0′02″	5″	0,002	0,012	0,024	0,121	1/41.200
1/1.000.000	0′00,2″	2″	0,001	0,005	0,010	0,048	1/103.100
		1″		0,002	0,005	0,024	1/206.300

TABEL 13-4. HITUNGAN UNTUK SEBUAH GARIS MENUTUP

TITIK	PANJANG	SUDUT ARAH	ΔY		ΔX		KOORDINAT	
			UTARA	SELATAN	TIMUR	BARAT	Y	X
A							1000,0	1000,0
	500,5	U35°30′T	407,5		290,6			
B							1407,5	1290,6
	251,6	S70°10′T		85,4	236,7			
C							1322,1	1527,3
	310,4	S10°50′T		304,9	58,3			
D							1017,2	1585,6
	350,7	S20°18′B		328,9		121,7		
E							688,3	1463,9

TABLE E-10. PRECISION OF COMPUTED VALUES

BESAR SUDUT DAN FUNGSI	GALAT SUDUT 1′	30″	20″	10″	5″
	KESAKSAMAAN HARGA-TERHITUNG MEMAKAI SIN ATAU COS				
sin 5° atau cos 85°	1/300	1/600	1/900	1/1800	1/3600
10 80	1/610	1/1210	1/1820	1/3640	1/7280
20 70	1/1250	1/2500	1/3750	1/7500	1/15,000
30 60	1/1990	1/3970	1/5960	1/11.970	1/23.940
40 50	1/2890	1/5770	1/8660	1/17.310	1/34.620
50 40	1/4100	1/8190	1/12.290	1/24.580	1/49.160
60 30	1/5950	1/11.900	1/17.860	1/35.720	1/71.440
70 20	1/9450	1/18.900	1/28.330	1/56.670	1/113.340
80 10	1/19.500	1/39.000	1/58.500	1/117.000	1/234.000
	KESAKSAMAAN HARGA-TERHITUNG MEMAKAI TG ATAU COTG				
tg atau cotg 5°	1/300	1/600	1/900	1/1790	1/3580
10	1/590	1/1180	1/1760	1/3530	1/7050
20	1/1100	1/2210	1/3310	1/6620	1/13.250
30	1/1490	1/2980	1/4470	1/8930	1/17.870
40	1/1690	1/3390	1/5080	1/10.160	1/20.320
45	1/1720	1/3440	1/5160	1/10.310	1/20.630
50	1/1690	1/3390	1/5080	1/10.160	1/20.320
60	1/1490	1/2980	1/4470	1/8930	1/17.870
70	1/1100	1/2210	1/3310	1/6620	1/13.250
80	1/590	1/1180	1/1760	1/3530	1/7050
85	1/300	1/600	1/900	1/1790	1/3580

APENDIKS F

JAWABAN SOAL – SOAL TERPILIH

BAB 15

15-7. 0,000025″
15-12. Tanda indeks dapat 0, 30, 50 atau 100
15-14. Tidak. Lihat Paragraf 15-12.
15-17. Baca benang tengah pada titik, gerakkan benang atas atau bawah ke titik. Perubahan sudut harus $0^\circ 17'$
15-20. $H = 545{,}6$ ft, $V = 39{,}8$ ft
15-25. Kira-kira $2^\circ 00'$
15-28. 422,6 ft
15-30. Kira-kira 6 menit.
15-33. $EF = 449$ ft, elevasi $F = 612{,}3$ ft

BAB 16

16-9. Gradien 2,5%
16-11. $6\frac{2}{3}\%$
16-16. Maksimum 12,5 ft untuk 10% elevasi-elevasi yang diuji.
16-18. 53
16-23. Semua titik garis tinggi mempunyai elevasi sama.
16-28. Pilihlah titik topo no. 1 dan lanjutkan berturut-turut keliling 360° searah jarum jam.
16-29. Mungkin tidak.

BAB 17

17-1. Sedang berlangsung di USGS dan NGS, lebih lambar di dalam pengukuran jalan raya, dan lebih banyak penentang dalam pengukuran hak milik.

17-3. 3 ft
17-6. Sehingga arah-arah tak akan disalahartikan (Lihat kesalahan pada gambar rencana tanah dalam Gambar 17-6)
17-9. 1 : 100, 1 : 200, 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 10.000
17-16. Kebudayaan, relief, tumbuh-tumbuhan, drainase
17-21. 5 ft
17-26. Kunci, atau keterangan
17-32. "Map" (peta) terutama mencakup wilayah daratan, "chart" (peta ikhtisar) sebagian besar wilayah perairan
17-35. Tergantung pada luas peta dan skala dll, kadang-kadang 0,001 acre
17-36. Tak sepenuhnya benar.

BAB 18

18-3. Skala peta, panjang garis-garis di tanah dan lembar peta; metode yang dipakai.
18-7. Prisma okuler perlu untuk mengatur mata antara teropong dan meja.
18-12. Meja dapat diatur di manapun ada tiga titik diketahui dapat dilihat untuk menentukan kedudukan yang ditempat.
18-14. Mengisi wilayah yang diragukan, pengecekan lapangan dan penggambaran.
18-19. 230 ft, 0,115″
18-24. 0,0067″ (tak berarti)
18-26. $\frac{1}{130}$
18-28. 802 ft

BAB 19

19-4. Deklinasi dan/atau Sudut Jam Greenwich atau Asensio Rekta.
19-12. Waktu-Sipil itu tetap, waktu-nampak tidak tetap.
19-13(d). 4^j00^m pagi (A.M.), PST.
19-14(d). $5^j25^m9{,}5^d$
19-17. $11^j57^m35{,}6^d$, EST, 5 Maret 1983
19-19(b). 6^j57^m sore (P.M.), PST
19-23. 64°49′
19-25. Untuk 1983, tinggi (bintang) = 42°49,8′
19-27(b). U86°23′B
19-28(c). Untuk 1983, deklinasi = 10°43,9′
19-34. 45°30′N
19-37. 40°17,2′N
19-39. 87°26′03,0″B

BAB 20

20-22. m = 0,68 (Orde Pertama, Kelas II)
20-24. Elevasi BMY = 860,652 ft

BAB 21

21-3. Untuk elevasi 3000 ft, faktor = 0,99985652
21-4. Untuk elevasi 2000 m, faktor = 0,99968623
21-8. Panjang kisi = 5.438,88 ft, arah kisi = S53°33′46,9″B
21-9. X = 2.066.508,92 ft, Y = 70.252,41 ft
21-15(b). 2486,07 ft
21-18. BC = 2400,00 ft
21-19. BC = 2399,85 ft
21-20. Azimut BC = 326°26′32″

21-21. Kesaksamaan = $\frac{1}{7600}$
21-22. Untuk C, $X = 2.060.395{,}20$ ft, $Y = 564.264{,}71$ ft
21-23. $CD = 523{,}722$ m
21-24. Arah CD = U20°02′38″T
21-25. Untuk D, $X = 712.284{,}319$ m, $Y = 180.191{,}720$ m

BAB 22

22-3. Kira-kira 1870
22-9. Telitilah arsip di gedung pengadilan setempat.
22-13. Koordinat. Mengganti titik sudut yang hilang dilaksanakan dengan lebih pasti.
22-23. Berbeda-beda untuk berbagai negara bagian, tapi yang paling umum 20 tahun.
22-27. Sebuah titik sudut yang ditemukan, memungkinkan lainnya dapat ditentukan.
22-29. 10,595 ft²
22-32. 10,530 ft²
22-34. $Bx = 155{,}2$ ft
22-35. $HG = 260{,}8$ ft
22-36. $PQ = 127{,}07$ ft; $KQ = 51{,}60$
22-38. Tidak. Tanah itu mungkin sudah dijual tetapi tidak tercatat (terdaftar).

BAB 23

23-1. Pembacaan rambu 1-ft merupakan 2 chains pada pembidikan jarak optis takimetri.
23-7. 5 links. 0°02,5 menit
23-9. 132 mil, 13 mil
23-12. Pemecahan bagian-bagian menjadi satuan lebih kecil.
23-16. 3840 rods
23-22. Pasang titik sudut di tengah-tengah, 20,14 ch pada garis section.
23-26. Rangkap, rangkap
23-31. Pada sisi-sisi utara dan selatan township pada titik-titik sudut section.
23-33. Tidak
23-34. Konvergensi meridian, kesalahan-kesalahan juru-ukur.

BAB 24

24-8. Gradien pipa = −1,547%, elevasi di stasiun 11 + 50 = 1572,66 ft
24-9. Galian di 3 + 00 = 5,95 ft
24-10. Rambu di 3 + 00 = 4,11 ft
24-15. $AC = 89{,}44$ ft, $BF = 106{,}30$ ft
24-16. 3,01 ft

BAB 25

25-1(b). $D_a = 4°05'33''$, $D_c = 4°05'36''$
25-5. $T = 255{,}18$ ft, $L = 507{,}24$ ft, $E = 17{,}28$ ft, $M = 17{,}13$ ft, $D_a = 3°03'21''$, PC = 62 + 62,32 ft, PT = 67 + 69,56 ft
25-9. $R = 1809{,}57$ ft, $D_c = 3°10'$, $T = 323{,}96$ ft, $L = 641{,}05$ ft, $E = 28{,}77$ ft, $M = 28{,}32$ ft, PC = 55 + 30,66 ft, PT = 61 + 71,71 ft. Untuk stasiun 59 + 00, tali busur = 100,00 ft belokan = 5°50,88′
25-14. $R = 1270{,}00$ ft, $D_a = 4°30'41''$, $T = 275{,}00$ ft, $L = 541{,}64$ ft, $E = 29{,}43$ ft, $M = 28{,}77$ ft, PC = 25 + 32,25 ft, PT = 30 + 73,89 ft. Untuk stasiun 29 + 00, tali busur = 99,97 ft, belokan = 8°17,73′
25-19. $R = 2292{,}01$ ft, $D_c = 2°30'$, $T = 294{,}97$ ft, $L = 586{,}67$ ft, $E = 18{,}90$ ft, $M = 18{,}75$ ft, PC = 103 + 27.40 ft, PT = 109 + 14,07 ft. Untuk stasiun 106 + 50, tali busur = 50,00, belokan 4°01,95′
25-22. $D_a = 3°40'$, PC = 34 + 72,64. For station 38 + 00, chord = 99.98 ft, deflec- belokan = 6°00,1′

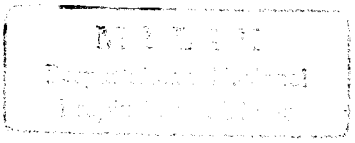
25-24. R = 1170,33 ft, L = 1133,65 ft, PC = 6 + 42,19 ft, PT = 17 + 75,84 ft
25-28. Untuk stasiun 84 + 00, tali busur = 570,00 ft, belokan = 11°17,75′
25-31. Untuk pematokan 55 + 00 dari PC, jarak singgung = 187,45 ft, simpangan singgung = 17,00 ft
25-35. X_p = 1305,24 ft, Y_p = 903,92 ft
25-37. 519,3 ft
25-39. R = 1333,49 ft

BAB 26

26-4. Elevasi 35 + 00 = 581,46 ft, elevasi stasiun 40 + 00 = 580,65 ft
26-8. L = 1268,47 ft, elevasi 17 + 00 = 1225,97 ft
26-12. g = +2,667%, elevasi 24 + 00 = 1297,32 ft, elevasi 27 + 00 = 1304,67 ft, elevasi 29 + 00 = 1311,17 ft
26-21. 721,64 ft
26-24. Stasiun 38 + 00 = elevasi 580,00 ft
26-26. S = 892 ft
26-30. L = 635 ft

BAB 27

27-4. Untuk timbunan 8 ft, luas ujung = 448 ft^2
27-5. Untuk timbunan 8 ft, luas ujung = 576 ft^2
27-8. V = 472 yard kubik
27-11. Volume kumulatif = −1490 yard kubik.
27-14. Pada 52 + 00, luas ujung = 63,9 ft^2
27-16. C_p = 0,5 yard kubik, tak berarti.
27-21. Potongan kiri = 38,4 ft pada elevasi = 1254,9 ft, luas ujung = 599,2 ft^2
27-23. V_e = 830 yard kubik, V_p = 835 yard kubik.
27-27. Volume = 1,36 acre feet.

BAB 28

28-4(c). 1:3445
28-6(b). 1:21.050
28-9. Luas = 24,07 acre
28-12. AB = 7554 ft
28-14. 233,67 acre
28-18. 4693 ft
28-20. 11.360 ft
28-22. Elevasi B = 2413 ft
28-29. 18
28-31. 26%
28-33. 35 lines at 63 photos each = 2205